

TESIS - MO142528

PEMODELAN DINAMIKA ESTUARI WONOREJO SURABAYA

ANITA DIAH PAHLEWI
4114205004

DOSEN PEMBIMBING
Suntoyo, S.T, M.Eng., Ph. D.
Dr. Ir. Wahyudi, M.Sc

PROGRAM MAGISTER
BIDANG KEAHLIAN TEKNIK MANAJEMEN PANTAI
FAKULTAS TEKNOLOGI KELAUTAN
INSTITUT TEKNOLOGI SEPULUH NOPEMBER
SURABAYA
2016



THESIS - MO 142528

MODELLING OF ESTUARINE DYNAMIC IN WONOREJO SURABAYA

ANITA DIAH PAHLEWI
NRP. 4114 205 004

SUPERVISORS
Suntoyo, S.T, M.Eng., Ph. D.
Dr. Ir. Wahyudi, M.Sc

MAGISTER PROGRAM
COASTAL ENGINEERING AND MANAGEMENT
FACULTY OF MARINE TECHNOLOGY
INSTITUT TEKNOLOGI SEPULUH NOPEMBER
SURABAYA
2016

**Tesis disusun untuk memenuhi salah satu syarat memperoleh gelar
Magister Teknik (M.T)
di
Institut Teknologi Sepuluh Nopember**

**Oleh:
Anita Diah Pahlewi
NRP. 4114205004**

**Tanggal Ujian: 22 Juli 2016
Periode Wisuda: September 2016**

Disetujui oleh:


1. **Suntoyo, M. Eng, Ph. D.** (Pembimbing I)
NIP: 19710723 199512 1 001


2. **Dr. Ir. Wahyudi, M.Sc** (Pembimbing II)
NIP: 19601214 198903 1 001


3. **Dr. Kriyo Sambodho, M. Eng** (Penguji)
NIP: 19740127 199903 1 002



Direktur Program Pascasarjana,


Prof. Ir. Djauhar Manfaat, M.Sc., Ph.D
NIP: 19601202 198701 1 001

PEMODELAN DINAMIKA ESTUARI WONOREJO SURABAYA

Nama : Anita Diah Pahlewi
NRP : 4114 205 004
Jurusan : Teknik dan Manajemen Pantai - ITS
Dosen Pembimbing : Suntoyo, ST, M.Eng, Ph.D
Dr. Ir. Wahyudi, M. Sc.

ABSTRAK

Surabaya memiliki potensi ekonomi yang sangat besar dan dipersiapkan sebagai kota dagang internasional. Wilayah laut Surabaya memberikan peranan penting bagi pembangunan ekonomi dan terbagi menjadi 4 zona. Pantai Timur Surabaya (Pamurbaya) termasuk dalam wilayah laut IV. Menurut UU, kawasan Pamurbaya perlu dilindungi karena potensi keanekaragaman hayatinya. Salah satu komponen yang ada di sistem Pamurbaya adalah estuari Wonorejo. Estuari Wonorejo berperan penting karena merupakan bagian dari perencanaan kota Surabaya, kawasan eduwisata, dan memiliki potensi perikanan. Kawasan ini menjadi lapangan pekerjaan bagi penduduk sekitar. Estuari Wonorejo termasuk dalam agenda pemerintah kota untuk dikelola dan dikembangkan sebagai daya tarik kota Surabaya sekaligus *buffer* dari efek negatif yang berasal dari darat dan laut. Berdasarkan hal tersebut dilakukan penelitian yang bertujuan untuk memodelkan dinamika perairan estuari berdasarkan parameter suhu, salinitas, arus yang bisa digunakan untuk penentuan tipe estuari muara Wonorejo. Diharapkan informasi dari hasil pemodelan ini berguna bagi pihak-pihak yang ingin mengetahui karakteristik dan pola dinamika estuari Wonorejo dan menjadi dasar pertimbangan bagi pengembangan di sekitar Pantai Timur Surabaya. Metode penelitian menggunakan pemodelan hidrodinamika 3 dimensi dengan bantuan software MIKE 3 modul hidrodinamika.

Kata kunci: estuari, tipe estuari, salinitas, temperatur, arus

MODELLING OF ESTUARINE DYNAMIC IN WONOREJO SURABAYA

Name : Anita Diah Pahlewi
NRP : 4114 205 004
Department : Coastal Engineering and Management- ITS
Supervisors : Suntoyo, ST, M. Eng, Ph.D
Dr. Ir. Wahyudi, M. Sc.

ABSTRACT

Surabaya has very great potential economy and it is planned to be an international business city. Coastal area in Surabaya gives some important impacts for the economic development and it is divided into 4 zones. The eastern coastal in Surabaya (Pamurbaya) is the fourth coastal area. Based on the national regulation of Indonesia, Pamurbaya needs to be conserved because of its biological diversity. One of the Pamurbaya's systems is Estuary in Wonorejo. This estuary has an important role such as Surabaya city plan, Edu-tourism, and potential fisheries. This area becomes a work place for people around. Estuary in Wonorejo is included in the government's agenda to be managed and developed as tourism and buffer area. In line with those facts, a study which aims to model the dynamics of estuary based on temperature, salinity and current parameters are conducted to determine the type of estuary in Wonorejo. The model is intended to be useful information for people who want to know the characteristic and dynamic of estuary in Wonorejo. The research method being used is a three-dimensional hydrodynamic modelling using hydrodynamic module in MIKE 3 software.

Keywords: estuary, type of estuary, salinity, temperature, current

DAFTAR ISI

LEMBAR PENGESAHAN.....	i
ABSTRAK	iii
ABSTRACT	v
KATA PENGANTAR	vii
DAFTAR ISI.....	ix
DAFTAR GAMBAR.....	xi
DAFTAR TABEL	xiii
DAFTAR LAMPIRAN	xv
BAB 1. PENDAHULUAN	1
1.1 Latar Belakang	1
1.2 Perumusan Masalah	4
1.3 Tujuan	4
1.4 Manfaat	4
1.5 Batasan Masalah	4
BAB 2. KAJIAN PUSTAKA DAN LANDASAN TEORI.....	5
2.1 Kajian Pustaka	5
2.2 Landasan Teori	6
2.2.1 Estuari	6
2.2.2 Sifat Fisik Estuari.....	6
2.2.2.1 Suhu	8
2.2.2.2 Salinitas	9
2.2.3 Klasifikasi Estuari.....	8
2.2.3.1 Klasifikasi Estuari berdasarkan Struktur Vertikal	
Salinitas	10
2.2.3.2 Klasifikasi Estuari berdasarkan Keseimbangan Air	12
2.2.3.3 Klasifikasi Estuari berdasarkan Geomorfologi	14
2.2.4 Pasang Surut.....	16
2.2.5 Arus.....	18
2.2.6 Pemodelan dan Metode Numerik.....	18

2.2.7 MIKE 3.....	19
BAB 3. METODOLOGI PENELITIAN	23
3.1 Lokasi dan Waktu Penelitian	23
3.2 Alur Penelitian	24
BAB 4. HASIL DAN PEMBAHASAN.....	29
4.1 Pemodelan	29
4.1.1 Lokasi Pemodelan.....	29
4.1.2 Karakteristik Area Pemodelan	30
4.1.3 Pemodelan Batimetri Muara Wonorejo	31
4.1.4 Pendefinisian Kondisi Batas	33
4.1.5 Parameter Pemodelan Muara Wonorejo.....	34
4.2 Simulasi Pemodelan	35
4.3 Validasi Simulasi Model	35
4.4 Validasi Pasang Surut	36
4.5 Hasil Simulasi Pasang Surut.....	37
4.6 Validasi Hasil Model Pola Arus	38
4.7 Hasil Simulasi Pola Arus	41
4.8 Pengukuran Temperatur Salinitas di Estuari Wonorejo	44
4.8.1 Validasi Simulasi Sebaran Salinitas	44
4.8.2 Hasil Simulasi Sebaran Salinitas	45
4.8.2.1 Sebaran Salinitas secara Horizontal	46
4.8.2.2 Sebaran Salinitas secara Vertikal	49
4.8.3 Validasi Simulasi Sebaran Temperatur	54
4.8.4 Hasil Simulasi Sebaran Temperatur	55
4.8.4.1 Sebaran Temperatur secara Horizontal	55
4.8.4.2 Sebaran Temperatur secara Vertikal	58
4.8.5 Penentuan Tipe Estuari Wonorejo dan Pendugaan Intrusi Air Laut di Muara Wonorejo	62
BAB 5. KESIMPULAN DAN SARAN	67
5.1 Kesimpulan	67
5.2 Saran	68
DAFTAR PUSTAKA	69

DAFTAR TABEL

Tabel 4.1 Rincian Kondisi Batas Pemodelan Muara Wonorejo	33
Tabel 4.2 Parameter Pemodelan.....	34
Tabel 4.3 Nilai Kesalahan antara Pola Arus Pengukuran dan Model	39
Tabel 4.4 Titik Validasi Pengambilan Sampel.....	44
Tabel 4.5 Nilai Kesalahan dan RMSE Salinitas pada 5 Titik Validasi	45
Tabel 4.6 Nilai Error dan RMSE Temperatur pada 5 Titik Validasi	54
Tabel 4.7 Koordinat Titik IP 1 sampai IP 4 untuk Melihat Pergerakan Salinitas..	63

DAFTAR GAMBAR

Gambar 2.1 Skema Sistem Estuari.....	7
Gambar 2.2 Kumpulan Klasifikasi Salinitas Air oleh Soeka.....	10
Gambar 2.3 Klasifikasi Estuari Berdasarkan Struktur Vertikal Salinitas	12
Gambar 2.4 Tipe Estuari Berdasarkan Keseimbangan Air	14
Gambar 2.5 Tipe Estuari Berdasarkan Geomorfologi	15
Gambar 3.1 Lokasi Penelitian	23
Gambar 3.2 Diagram Alir Penelitian	24
Gambar 3.3 Diagram AlirPemodelan.....	27
Gambar 4.1 Lokasi Pemodelan	29
Gambar 4.2 Mudflat Wonorejo	30
Gambar 4.3 Peta Ekosistem di Kota Surabaya.....	30
Gambar 4.4 Grid Pemodelan Kali Londo Muara Wonorejo	32
Gambar 4.5 Meshing Batimetri Kali Londo Muara Wonorejo	32
Gambar 4.6 Penamaan untuk Kode Boundary	33
Gambar 4.7 Kondisi Batas pada Pemodelan Muara Wonorejo.....	34
Gambar 4.8 Lokasi Titik-titik Pengukuran untuk Validasi	35
Gambar 4.9 Perbandingan Elevasi Pasang Surut antara Pengukuran, Hasil Model, dan Data DISHIDROS	37
Gambar 4.10 Perbandingan Elevasi Pasang Surut antara DISHIDROS dan Pemodelan	38
Gambar 4.11 Grafik Validasi Arus Pengukuran Lapangan dengan Arus Model .	39
Gambar 4.12 WInd rose Distribusi Arah dan Kecepatan Arus Permukaan Agustus- Septmber 2015	40
Gambar 4.13 Contoh Simulasi Hidrodinamika yang Menunjukkan Arah Arus menuju Barat Laut.....	40
Gambar 4.14 Pola Arus saat Menuju Pasang	41
Gambar 4.15 Pola Arus saat Pasang Tertinggi.....	42
Gambar 4.16 Pola arus saat Menuju Surut.....	42
Gambar 4.17 Pola Arus saat Surut Terendah	43

Gambar 4.18 Grafik Perbandingan Salinitas antara Hasil Pengukuran dan Pemodelan	45
Gambar 4.19 Grafik Salinitas di 5 Titik Validasi	46
Gambar 4.20 Sebaran Salinitas pada Kondisi Menuju Pasang.....	47
Gambar 4.21 Sebaran Salinitas pada Saat Pasang Tertinggi	48
Gambar 4.22 Sebaran Salinitas pada Kondisi Menuju Surut	48
Gambar 4.23 Sebaran Salinitas pada Saat Surut Terendah	49
Gambar 4.24 Lokasi Titik Awal dan Titik Akhir untuk Analisa Sebaran Salinitas secara Vertikal	49
Gambar 4.25 Profil Salinitas secara Vertikal Saat Kondisi Menuju Pasang	50
Gambar 4.26 Profil Salinitas secara Vertikal pada Saat Pasang Tertinggi.....	51
Gambar 4.27 Profil Salinitas secara Vertikal pada Kondisi Menuju Surut.....	52
Gambar 4.28 Profil Salinitas secara Vertikal pada Saat Surut Terendah	53
Gambar 4.28 Grafik Perbandingan Temperatur antara Hasil Pengukuran dan Pemodelan	54
Gambar 4.29 Grafik Perbandingan Temperatur di 5 Titik Validasi	55
Gambar 4.30 Sebaran Temperatur secara Horizontal Saat Menuju Pasang	56
Gambar 4.31 Sebaran Temperatur secara Horizontal Saat Pasang Tertinggi	57
Gambar 4.32 Sebaran Temperatur secara Horizontal Saat Menuju Surut.....	57
Gambar 4.33 Sebaran Temperatur secara Horizontal Saat Surut Terendah	58
Gambar 4.34 Sebaran Temperatur secara Vertikal Saat Menuju Pasang	60
Gambar 4.35 Sebaran Temperatur secara Vertikal Saat Pasang Tertinggi.....	60
Gambar 4.36 Sebaran Temperatur secara Horizontal Saat Menuju Surut.....	61
Gambar 4.37 Sebaran Temperatur secara Horizontal Saat Surut Terendah	61
Gambar 4.38 Lokasi Titik IP 1 sampai IP 4 untuk Pergerakan Salinitas	63
Gambar 4.39 Perbandingan Keadaan Salinitas pada Titik IP 1 sampai IP 4 pada Saat Surut (A) dan Saat Pasang (B).....	64

DAFTAR LAMPIRAN

Lampiran 1. Data Temperatur Salinitas di Daerah Penelitian.....	73
Lampiran 2. Data Pasang Surut Agustus-September 2015 dari DISHIDROS.....	74
Lampiran 3. Data Angin Wilayah Surabaya Timur (Wonorejo) Tahun 2015 dari BMKG.....	75
Lampiran 4. Dokumentasi Penelitian	76
Lampiran 5. Lisensi Penggunaan Software	79

BAB 1

PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang

Kota Surabaya merupakan ibukota Propinsi Jawa Timur yang memiliki luas area darat sekitar 33,048 Ha; area laut seluas 19,039 Ha; dan garis pantai sepanjang 37,5 km (BPP Kota Surabaya, 2013). Dengan segala potensi, fasilitas, dan keunggulan geografisnya, Surabaya memiliki potensi ekonomi yang sangat besar dan dipersiapkan sebagai kota dagang internasional (Dinkominfo, Tanpa Tahun). Wilayah laut Surabaya memberikan peranan penting bagi pembangunan ekonomi. Dilihat dari potensi dan fungsi, baik ekonomis maupun non ekonomis, wilayah laut di Surabaya dibagi menjadi empat zona wilayah dengan fungsi sebagai berikut:

1. Wilayah laut I, berfungsi untuk pengembangan pelabuhan dan alur pelayaran kapal besar
2. Wilayah laut II sebagai area pelabuhan dan angkutan penyeberangan, pangkalan militer Angkatan Laut, industri perkapalan dan alur pelayaran kapal besar
3. Wilayah laut III sebagai wisata bahari/ laut, area penangkapan dan budidaya perikanan serta alur pelayaran kapal nelayan
4. Wilayah laut IV sebagai kawasan lindung dan rehabilitasi lingkungan laut dan pantai serta area penangkapan dan budidaya perikanan

Pantai Timur Surabaya (Pamurbaya) termasuk dalam wilayah laut IV dan merupakan daerah konservasi, dimana daerah tersebut masih memiliki wilayah yang lebih alami. Pamurbaya menjadi muara 7 sungai dan memiliki potensi keanekaragaman hayati yang dapat dijadikan obyek untuk keperluan pengembangan penelitian, pendidikan, dan ilmu pengetahuan. Dari keanekaragaman hayati tersebut berdasarkan UU, Kawasan Pamurbaya perlu dilindungi (BPP Kota Surabaya, 2013). Kawasan ini banyak dimanfaatkan sebagai area penelitian, daerah tangkap ikan serta pembudidayaan yang dapat mempengaruhi arah pembangunan daerah pesisir dan laut.

Salah satu ekosistem penting di kawasan Pantai Timur Surabaya adalah estuari. Estuari dapat dianggap zona transisi atau ekotone antara habitat air tawar dan habitat lautan, tetapi banyak dari kelengkapan fisika dan biologinya yang utama tidaklah bersifat transisi, melainkan unik. Estuari berkaitan erat kehidupan manusia karena fungsinya sebagai lokasi pembangunan kota dan pelabuhan, jalur transportasi, penampungan limbah, kawasan pariwisata, area penelitian, serta penangkapan ikan dan budidaya. Ketergantungan pada sedemikian banyak perikanan komersial penting pada perairan estuaria merupakan salah satu alasan ekonomi yang utama untuk melestarikan habitat ini (Odum, 1993). Pemahaman mengenai karakteristik estuari diperlukan agar bisa menentukan langkah yang tepat dalam menangani dan mengelola suatu estuari. Untuk memahami proses-proses yang mempengaruhi distribusi dan siklus partikel, polutan, nutrien, dan organisme di estuari, tidak cukup hanya fokus pada aspek biologis dan kimiawi saja. Pergerakan air dan aspek hidrodinamika pada sistem pesisir sama pentingnya, termasuk pola sirkulasi, stratifikasi, pencampuran dan *flushing* (Day dkk, 1989)

Sirkulasi estuari, pertukaran air dengan laut, dan pola arus ditentukan oleh pasang-surut, aliran sungai, dan geometri dari muara (Duxbury, 2002). Sirkulasi air di daerah estuari sangat dipengaruhi oleh aliran air tawar yang bersumber dari badan sungai dan air asin yang berasal dari laut. Pencampuran kedua massa air yang terjadi di muara sungai dapat menyebabkan perubahan kondisi fisik oseanografi di lokasi tersebut. Salah satunya yaitu adanya fluktuasi salinitas, yang bersama dengan suhu akan mempengaruhi sirkulasi massa air (Robert, 2005 dalam Hadikusumah, 2008). Pola penyebaran salinitas dapat digunakan sebagai dasar untuk melihat sejauh mana konsentrasi salinitas dari air laut terdifusi hingga ke hulu sungai dan sejauh mana pengaruh masukan air tawar terhadap konsentrasi salinitas di perairan muara sungai (Sari dkk, 2013). Gradien temperatur juga penting dimana pemanasan oleh matahari menstabilkan profil densitas vertikal, dimana angin menaikkan pendinginan permukaan yang menghasilkan *overturning* (Prandle, 2009). Interaksi antara air tawar dan air laut di perairan estuari perlu dipahami karena dapat mempengaruhi penyebaran suhu, salinitas, kekeruhan, dan sebagainya. Adanya perubahan suhu dapat menyebabkan

terjadinya sirkulasi dan stratifikasi air yang secara langsung maupun tidak langsung berpengaruh terhadap distribusi air (Aziz, 2007).

Model merupakan gambaran sederhana dari suatu sistem sebagai bantuan untuk memahami proses-proses yang rumit. Model matematika dikembangkan untuk meramalkan perubahan dinamika terhadap waktu. Dengan adanya pemodelan, permasalahan bisa dilihat lebih jelas dan membantu untuk mengembangkan solusi dari suatu permasalahan. Pemodelan hidrodinamika yang dihubungkan dengan tipe estuari telah dilakukan (misal Aziz, 2007; Jumarang dkk, 2011). Dalam penelitiannya, penentuan tipe estuari menggunakan parameter arus, suhu, dan salinitas. Data parameter tersebut diolah dengan bantuan program komputer untuk mendapatkan desain simulasi dari hasil penelitian lapangan.

Estuari di muara Wonorejo merupakan salah satu kawasan pariwisata dan sarana edukasi yang menarik, baik untuk masyarakat lokal maupun internasional. Kawasan ini juga menjadi lapangan pekerjaan bagi penduduk sekitar, sehingga pengelolaan ekologi estuari di daerah ini menjadi penting. Pemahaman tentang pentingnya pengelolaan daerah estuari yang berkelanjutan memerlukan pemahaman dinamika perairan agar pengelolaan daerah estuari bisa berjalan dengan tepat. Penelitian mengenai penentuan tipe estuari di muara Wonorejo belum dilakukan. Sedangkan Wonorejo yang termasuk area Pamurbaya, masuk dalam agenda pemerintah kota untuk dikelola dan dikembangkan sebagai daya tarik Kota Surabaya sekaligus *buffer* dari efek negatif yang berasal dari darat dan laut. Oleh karena itu, penelitian ini bertujuan untuk memodelkan dinamika perairan estuari berdasarkan parameter suhu, salinitas, arus yang bisa digunakan untuk penentuan tipe estuari muara Wonorejo. Diharapkan informasi dari hasil pemodelan ini berguna bagi pihak-pihak yang ingin mengetahui karakteristik dan pola dinamika estuari Wonorejo dan menjadi dasar pertimbangan bagi pengembangan di sekitar Pantai Timur Surabaya.

1.2 Rumusan Masalah

Dari latar belakang penelitian diatas, maka dalam penelitian ini dapat dirumuskan permasalahan sebagai berikut:

1. Bagaimana pola sirkulasi arus yang terjadi di perairan estuari Wonorejo?
2. Bagaimana pola distribusi suhu dan salinitas yang terjadi di estuari Wonorejo?
3. Apa tipe estuari Wonorejo berdasarkan karakteristik perairannya?

1.3 Tujuan Penelitian

Dari rumusan masalah diatas, maka tujuan yang ingin dicapai dalam penelitian ini adalah sebagai berikut:

1. Mengetahui pola sirkulasi arus di perairan estuari muara Wonorejo
2. Mengetahui pola distribusi suhu dan salinitas perairan estuari muara Wonorejo
3. Menentukan tipe estuari pada muara Wonorejo

1.4 Manfaat

Manfaat hasil penelitian ini diharapkan dapat menentukan tipe estuari di muara Wonorejo berdasarkan karakteristik perairannya yang meliputi suhu, salinitas, dan arus sehingga bisa digunakan sebagai bahan informasi bagi pihak-pihak yang ingin mengetahui karakteristik dan pola dinamika perairan estuari Pamurbaya khususnya Wonorejo dan menjadi dasar pertimbangan bagi pengembangan di sekitar Pantai Timur Surabaya

1.5 Batasan Masalah

Untuk memfokuskan penelitian yang dilakukan maka permasalahan akan dibatasi pada hal-hal berikut:

1. Area pemodelan adalah Kali Londo di daerah muara Wonorejo Surabaya
2. Karakteristik perairan meliputi data salinitas, suhu, dan arus
3. Pemodelan menggunakan software MIKE 3 modul Hidrodinamika dan sub modul temperatur/salinitas
4. Survei lapangan dilakukan pada periode musim kemarau

BAB 2

KAJIAN PUSTAKA DAN LANDASAN TEORI

2.1 Kajian Pustaka

Penelitian mengenai pemodelan dinamika estuari dilakukan oleh Sari dkk (2012). Tujuan penelitian ini adalah untuk mendeskripsikan sebaran salinitas dengan model numerik dua dimensi di estuari sungai Musi dan menentukan hubungan antara sebaran salinitas dengan unsur hidrodinamika perairan. Pemodelan menggunakan model matematis hidrodinamika aliran dua dimensi horisontal dengan rata-rata kedalaman yang dikenal dengan RMA-2 dan RMA-4 yang merupakan modul dalam software SMS. Hasil simulasi model menunjukkan bahwa pola sebaran salinitas mengikuti pola arus yang terbentuk dan faktor angin tidak terlalu mempengaruhi pergerakan arus di lokasi penelitian. Selain itu sebaran salinitas (hasil simulasi) mempunyai hubungan yang erat dengan unsur hidrodinamika yaitu pasang surut, dimana pada kondisi perairan pasang pengaruh air laut tidak terlalu jauh masuk ke sungai sedangkan pada saat kondisi surut pengaruh air sungai bergerak jauh ke luar menuju laut.

Aziz (2007) melakukan penelitian di estuari Binuangeun, Banten. Tujuan utama penelitian adalah untuk mengetahui pola sebaran vertikal horisontal suhu dan salinitas yang digunakan untuk mengidentifikasi tipe estuari Binuangeun. Data suhu dan salinitas yang diperoleh diolah dengan *software* Surfer untuk dibuat kontur sebaran dua lapisan, yaitu lapisan permukaan dan lapisan dekat dasar. Hasil pengamatan distribusi suhu menunjukkan bahwa di perairan Estuari Binuangeun tidak terdapat lapisan termoklin dikarenakan kedalaman perairannya termasuk dangkal sehingga pengaruh angin masih dominan. Distribusi salinitas diperoleh nilai salinitas yang relatif homogen terhadap kedalaman. Salinitas yang homogen ini menjadi indikasi adanya proses pengadukan vertikal yang kuat (*well mixed*) antara air laut dan air tawar.

Penelitian Jumarang dkk (2011) mengenai pola sirkulasi arus dan salinitas perairan estuari sungai Kapuas. Penelitian ini bertujuan untuk memodelkan dan mengkaji pola sirkulasi arus dan salinitas perairan estuari sungai

Kapuas yang dibangkitkan oleh pasang surut, gaya pembangkit angin dan discharge sungai. Pada studi ini digunakan model numerik hidrodinamika MIKE 21 untuk mensimulasikan pola sirkulasi arus dan salinitas. Dari penelitian tersebut diketahui bahwa :

- a. pola sirkulasi arus saat purnama maupun perbani menunjukkan kesesuaian pola, yang membedakan adalah besarnya kecepatan arus (kecepatan arus pada kondisi purnama lebih tinggi dibandingkan saat perbani)
- b. pada kondisi pasut yang sama, pola sebaran salinitas juga cenderung sama, dimana salinitas perairan daerah model lebih tinggi pada saat perbani dibandingkan pada saat purnama

2.2 Landasan Teori

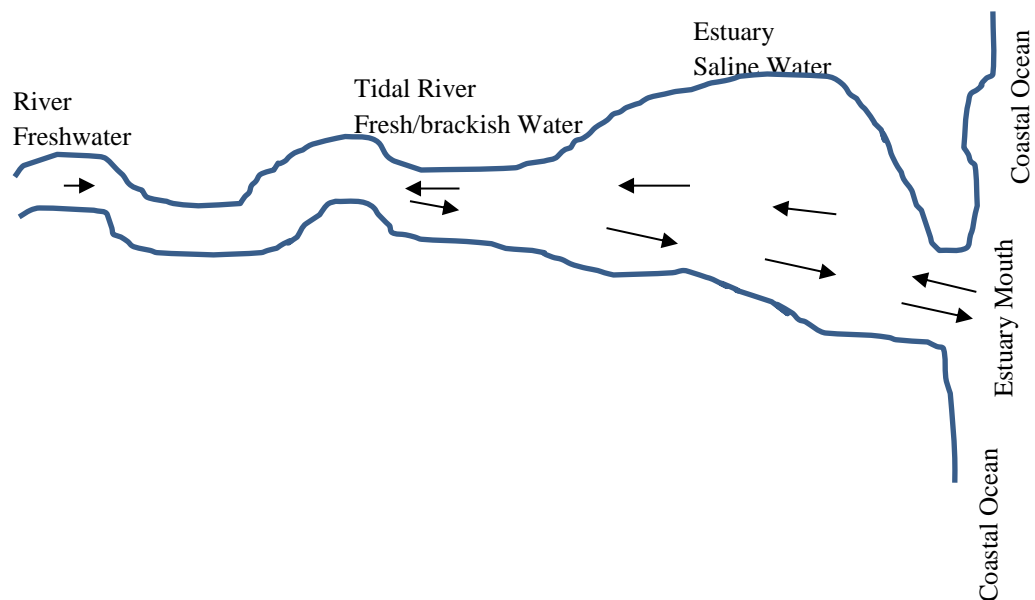
2.2.1 Estuari

Estuari telah lama menjadi area yang penting bagi manusia, karena selain sebagai alur pelayaran, area ini juga berpotensi untuk dijadikan area perkotaan. Para ilmuwan biologi tertarik oleh fungsi lain dari estuari yaitu area mencari makan utama untuk berbagai spesies burung, lokasi perikanan pesisir, ataupun area untuk memahami bagaimana hewan dan tumbuhan beradaptasi dengan lingkungannya (McLusky, 2004). Estuari merupakan tempat pertemuan air tawar dan air asin. Definisi estuari adalah bentuk teluk di pantai yang sebagian tertutup, dimana air tawar dan air laut bertemu dan bercampur (Nybakken, 1988). Menurut Ji (2008) estuari adalah perairan pesisir dimana mulut sungai bertemu dengan lautan dan dimana air tawar dari sungai bercampur dengan air asin dari lautan. Contoh perairan estuari adalah : muara sungai, teluk kecil, laguna, dan rawa pasang-surut. Secara ekologis, daerah ini adalah pelagis dangkal yang mengandalkan sistem planktonis sebagai dasar dari proses ekologi di daerah tersebut (DKP, 2009).

Estuari berbeda dari sungai dan danau secara hidrodinamik, kimiawi, dan biologi. Dibandingkan dengan sungai dan danau, karakteristik unik estuari yaitu (1) pasang surut adalah daya penggerak utama; (2) salinitas dan variasinya biasanya berperan penting dalam proses hidrodinamik dan kualitas air; (3) *net flows* dua arah, menuju kearah laut dilapisan permukaan dan menuju kearah darat

dilapiskan dasar, sering mengontrol transport polutan jangka panjang; dan (4) kondisi *open boundary* dibutuhkan dalam pemodelan numerik. Faktor primer yang mengontrol proses transport di estuari adalah pasang surut dan masukan air tawar. Gaya angin juga dapat menjadi signifikan untuk estuari yang besar. Pada sebagian besar estuari, air tawar berasal dari bagian kepala sungai (hulu) dan memiliki bagian peralihan (dekat mulut estuari) antara estuari dan laut (Ji, 2008).

Gambar 2.1 memberikan ilustrasi mengenai sistem estuari yang umumnya panjang dan sempit, meniru seperti sebuah saluran. Sungai merupakan sumber utama air tawar ke dalam estuari yang bercampur dengan air laut sebagaimana elevasi pasang naik dan surut.



Gambar 2.1 Skema Sistem Estuari (Ji, 2008)

Pengetahuan intrusi air asin adalah penting untuk mengetahui dinamika sedimen di estuari, penentuan letak bangunan pengambilan (intake) dari saluran primer di daerah persawahan pasang surut atau tambak. Daerah pertanian tidak boleh dipengaruhi air asin. Oleh karena itu, saluran irigasi harus diletakkan di daerah yang tidak dipengaruhi air asin. Demikian juga, suatu jenis ikan/udang akan berkembang dengan baik pada lingkungan dengan kadar garam tertentu. Letak intake saluran dari suatu tambak harus sedemikian rupa sehingga kadar garam air untuk tambak memenuhi persyaratan.

2.2.2 Sifat Fisik Estuari

2.2.2.1 Suhu

Temperatur adalah karakter fisik air laut yang sangat penting, karena dapat digunakan untuk mengidentifikasi badan air laut secara umum. Sebaran temperatur pada permukaan laut dipengaruhi oleh fluks panas, penguapan, curah hujan, air sungai yang mengalir ke laut serta pembekuan dan pencairan es di laut. Perubahan temperatur pada permukaan laut dapat menimbulkan penurunan atau peningkatan kerapatan air pada permukaan laut. Jika air dari permukaan mengalir ke bagian laut yang lebih dalam, maka akan terjadi hubungan yang khusus antara temperatur dan salinitas yang dapat digunakan untuk identifikasi sumber dan untuk merunut gerakan air laut di bagian dalam (Cahyana, 2006).

Menurut Cahyana (2006) sirkulasi air laut juga mempengaruhi sebaran temperatur. Gerakan air laut secara keseluruhan memindahkan panas dari bagian laut yang berada pada posisi garis lintang rendah ke bagian laut pada posisi garis lintang tinggi melalui arus permukaan. Air dingin dari daerah kutub mengalir menuju ke arah equator melalui arus bawah. Sebaran horisontal temperatur pada permukaan laut terbuka cenderung bersifat zonal, yaitu tidak bergantung pada posisi garis bujur. Perbedaan temperatur terutama disebabkan oleh kenaikan panas di lapisan permukaan di daerah equator dan pengurangan panas di daerah kutub. Air paling hangat berada di sekitar equator dan air paling dingin berada di sekitar kutub. Profil vertikal temperatur di bawah permukaan laut biasanya dibagi ke dalam tiga zona. Karena angin menghembus permukaan laut, lapisan paling atas membentuk lapisan tipis yang disebut *mixed surface layer*, yang memiliki temperatur sama dengan temperatur permukaan. Ketebalan lapisan ini berkisar antara 10-200 m pada daerah tropis dan sabuk lintang pertengahan. Di bawah *mixed surface layer*, temperatur air berkurang secara cepat terhadap kedalaman kecuali pada daerah garis lintang besar. Rentang kedalaman dimana laju perubahan temperatur (*the gradient of temperature*) tinggi disebut *thermocline*. Bagian *thermocline* yang paling atas sedikit berubah terhadap musim, sehingga disebut *seasonal thermocline*. Bagian *thermocline* yang tidak berubah disebut *permanent thermocline* terletak di bawah *seasonal thermocline* sampai kedalaman 1500-2000 meter.

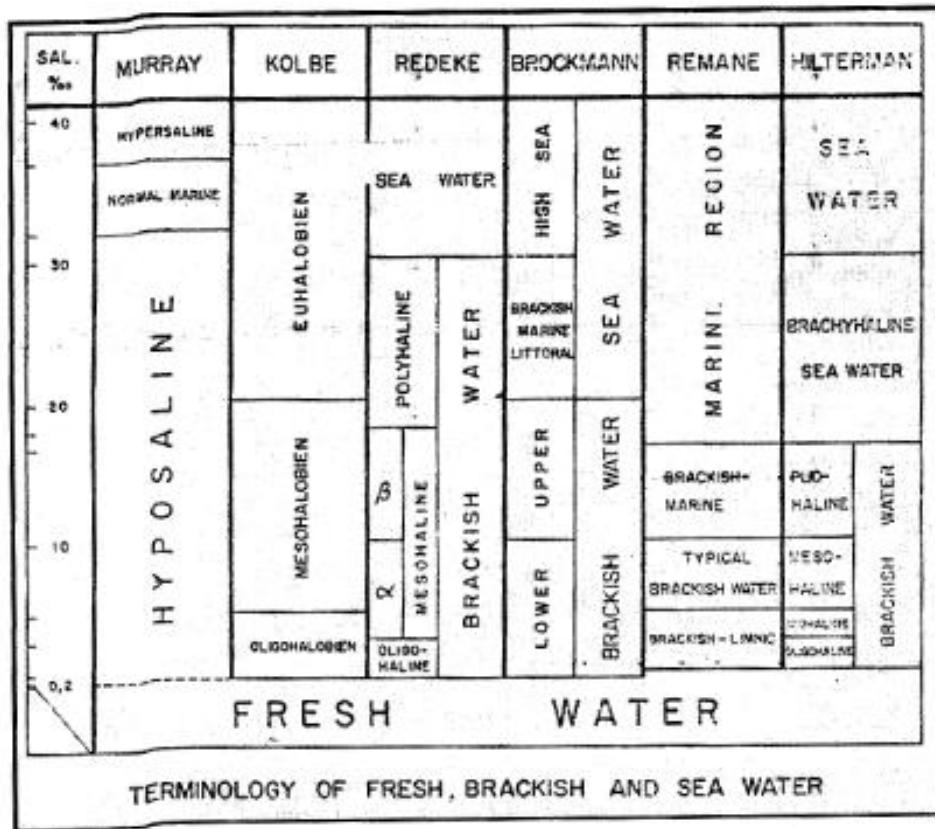
Suhu di estuari lebih bervariasi daripada di perairan pantai didekatnya. Hal ini sebagian karena biasanya di estuari volume air lebih kecil sedangkan luas permukaan lebih besar, dengan demikian pada kondisi atmosfer yang ada, air estuari ini lebih cepat panas dan lebih cepat dingin. Alasan lain terjadinya variasi ini ialah masukan air tawar. Air tawar di sungai dan kali lebih dipengaruhi oleh perubahan suhu musiman daripada air di laut. Suhu juga bervariasi secara vertikal. Perairan permukaan mempunyai kisaran yang terbesar, dan perairan yang lebih dalam kisaran suhunya lebih kecil (Nybakken, 1988)

2.2.2.2 Salinitas

Salinitas merupakan pengukuran konsentrasi garam dalam air. Salinitas yang lebih tinggi berarti lebih banyak garam terlarutnya. Satuan salinitas umumnya adalah *parts per thousand* (ppt atau ‰), yang mana merupakan konsentrasi garam dalam gram per liter air atau konsentrasi total dari garam dalam gram yang terkandung dalam 1 kg air laut. Rentang salinitas dari 0 hingga 33 ppt di estuari dan sekitar 35 ppt untuk laut terbuka. Tahun 1978 UNESCO *Practical Salinity Scale* mendefinisikan ulang salinitas dalam *Practical Salinity Unit* (psu): rasio konduktivitas dari contoh air laut (Ji, 2008).

Gambaran dominan lingkungan estuaria ialah berfluktuasinya salinitas. secara definitif, suatu gradien salinitas akan tampak pada suatu saat tertentu, tetapi pola gradien bervariasi bergantung pada musim, topografi estuaria, pasang surut, dan jumlah air tawar. Tempat yang perbedaan pasang surutnya besar, pasang-naik mendorong air laut lebih jauh ke hulu estuaria, menggeser isohalin ke hulu. Pasang-turun sebaliknya menggeser isohalin ke hilir. Akibatnya ada daerah di estuaria yang rezim salinitasnya berubah sesuai dengan keadaan pasang-surut. Perubahan salinitas musiman di estuaria biasanya merupakan akibat perubahan penguapan musiman dan/atau perubahan aliran air tawar musiman. Di daerah dimana debit air tawar berkurang atau kering sama sekali selama setengah waktu dalam setahun, salinitas tertinggi bisa didapat lebih jauh ke hulu. Dengan mulainya kenaikan aliran air tawar, gradien salinitas digeser ke hilir ke arah mulut estuaria. Oleh karena itu, pada berbagai musim, suatu titik tertentu di estuaria dapat mengalami salinitas yang berbeda-beda (Nybakken, 1988).

Soeka (1982, dalam Ongkosongo 2010) mengumpulkan macam klasifikasi air berdasar salinitasnya seperti pada Gambar 2.2 berikut.



Gambar 2.2 Kumpulan Klasifikasi Salinitas Air oleh Soeka (Ongkosongo, 2010)

Estuari merupakan suatu badan air dimana salinitas berkisar antara 0,1 ‰ hingga 35 ‰ (CEM, 2001). Ongkosongo (2010) mengatakan bahwa secara umum salinitas air tawar di bawah 0,2 ‰. Selanjutnya salinitas air diklasifikasikan ke dalam *oligohaline* (0,5-3 ‰), *mesohaline* (3-16,5 ‰), *polyhaline* (16,5-30 ‰), dan *marine* (diatas 30 ‰).

2.2.3 Klasifikasi Estuari

2.2.3.1 Klasifikasi Estuari Berdasarkan Struktur Vertikal Salinitas

Berdasarkan penelitian oleh Pritchard, Cameron dan Pritchard, serta Odum dalam Valle-Levinson (2010) menurut stratifikasi kolom air atau struktur vertikal salinitas, estuari diklasifikasikan sebagai *salt wedge*, *strongly stratified*, *weakly stratified* atau *vertically mixed*. Klasifikasi ini berdasarkan kesetimbangan

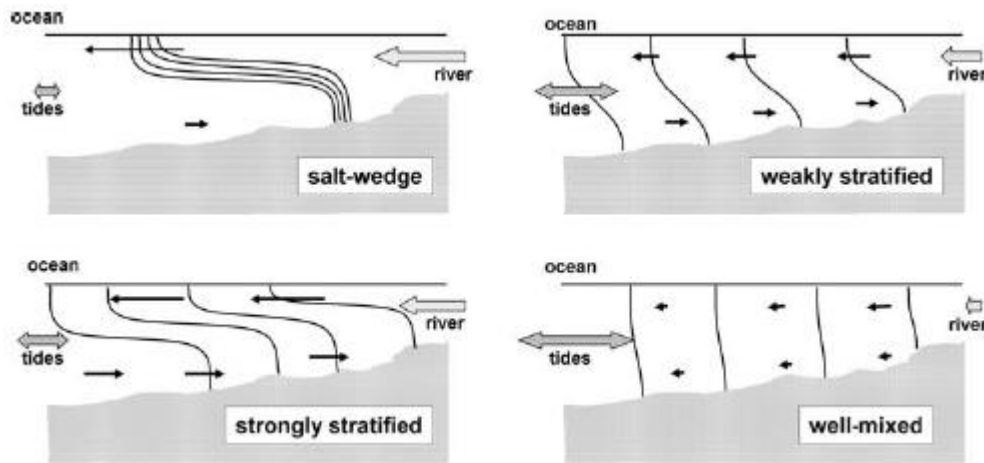
antara gaya apung dari aliran sungai dan mixing dari gaya pasang surut. *Mixing* dari gaya pasang surut proporsional terhadap volume air laut yang masuk ke estuari setiap siklus pasang surut, yang dikenal dengan prisma pasang surut/ *tidal prism*.

Estuari stratifikasi tinggi atau salt wedge estuary bila aliran air sungai sangat mendominasi air pasang surut, seperti pada muara sungai besar, air tawar cenderung melimpahi air garam yang lebih berat. *Strongly stratified estuary* terjadi selama banjir pasang, ketika air laut mengintrusi dalam bentuk wedge. Beberapa sistem estuari ini kehilangan sifat salt wedge selama periode kering. Stratifikasi semacam itu atau estuari dua lapis akan memperlihatkan profil salinitas dengan suatu halocline atau zona dengan perubahan salinitas secara tajam dari atas sampai ke bawah. Pola aliran utama hasil dari mixing antara air laut yang masuk dan air sungai yang masuk. Dari debit aliran sungai yang menengah menuju ke debit yang besar dan gaya pasang yang lemah menuju ke yang menengah menghasilkan strongly stratified estuary. Estuari jenis ini mempunyai stratifikasi yang sama dengan salt wedge estuary, namun stratifikasi seluruhnya tetap kuat selama siklus pasang surut seperti halnya estuari fjord dan estuari yang dalam lainnya (dengan kedalaman >20 m). Muara sungai Mississippi merupakan contoh jenis salt wedge ini.

Estuari tercampur sempurna atau well-mixed estuary bila gerakan pasang surut sangat dominan dan hebat, air cenderung untuk bercampur dengan baik dari atas sampai ke bawah, dan secara relatif salinitas menjadi tinggi (hampir sama dengan salinitas laut). Perairan estuari ini terjadi pengadukan vertikal yang kuat disebabkan oleh gerak pasang surut hingga mengakibatkan perairan menjadi homogen secara vertikal. Karena berada di bawah kendali pasang surut maka salinitas di semua titik dapat berubah dengan drastis, bergantung pada kedudukan pasang surut. Pada saat surut, salinitas didominasi oleh air tawar yang datang dari sungai sedangkan pada saat pasang salinitas didominasi air laut.

Estuari tercampur sebagian atau partially-mixed estuary atau weakly stratified bila aliran masuk air tawar dan pasang surut hampir sama, cara pencampuran yang dominan adalah turbulensi, yang disebabkan oleh periodisitas dari gerakan pasang-surut. Profil salinitas tegak menjadi kurang tajam, karena

lebih banyak tenaga terhambat dalam pencampuran vertikal, dengan demikian menimbulkan pola yang kompleks untuk lapisan-lapisan dan massa air. Contohnya adalah Chesapeake Bay.



Gambar 2.3. Klasifikasi Estuari Berdasarkan Struktur Vertikal Salinitas (Valle-Levinson, 2010)

2.2.3.2 Klasifikasi Estuari Berdasarkan Keseimbangan Air

Menurut Nybakken (1988) dan Valle-Levinson (2010) klasifikasi estuari berdasarkan keseimbangan air dapat dibedakan menjadi:

Estuari Positif atau estuari baji garam

Pada titik tertentu di dimana saja di estuari, suatu kolom air vertikal akan mempunyai salinitas tertinggi pada atau dekat dasar dan salinitas terendah pada atau dekat permukaan. Hal ini karena pada estuari terdapat aliran air tawar cukup memadai dan penguapan tidak begitu tinggi (khas estuari daerah beriklim sedang), air tawar akan bergerak ke luar di atas air asin, bercampur dengannya dekat permukaan, sehingga salinitas akan turun dan membiarkan bagian air yang lebih dalam tetap lebih tinggi salinitasnya. Dalam situasi seperti ini, suatu penampang melintang estuari akan memperlihatkan isohalin (garis salinitas yang sama), yang menjorok ke arah hulu pada bagian dasar. Estuari baji garam membentuk suatu kesinambungan mulai dari estuari dengan sedikit pencampuran dan baji garam yang sangat menonjol, kemudian estuari dengan sebagian pencampuran dan baji garam yang tidak mencolok, sampai estuari yang homogen dimana pencampuran

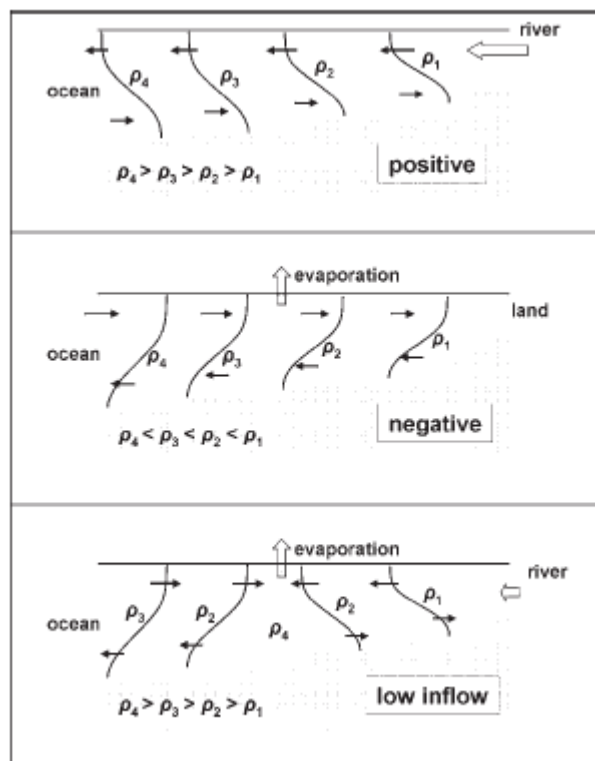
sempurna menghasilkan salinitas yang sama secara vertikal dari permukaan sampai ke dasar pada setiap titik. Dimana kedudukan suatu estuari dalam kesinambungan ini, tidak saja bergantung pada besarnya percampuran massa air, tetapi juga pada rezim pasang surut, geometri pasu estuari, dan aliran sungai. Rezim pasang surut dan aliran sungai dapat juga berubah sesuai dengan musim. Menurut Valle-Levinson (2010), dalam estuari positif, gradien densitas longitudinal menghasilkan volume aliran ke arah laut dimana aliran permukaan yang keluar lebih kuat daripada aliran yang masuk di dekat dasar akibat penambahan air tawar. Sirkulasi yang disebabkan oleh volume air tawar yang ditambahkan ke basindikenal sebagai sirkulasi estuari atau sirkulasi gravitasi

Estuari Negatif/ Inverse Estuary

Jenis estuari ini terutama ditemukan pada daerah-daerah dengan iklim gurun pasir atau daerah kering dimana jumlah masukan air tawar ke dalam estuari sedikit dan kecepatan penguapan tinggi. Menurut Valle-Levinson (2010), disebut estuari negatif karena gradien densitas longitudinal mempunyai karakteristik yang berlawanan dengan estuari positif, misal, densitas air meningkat menuju daratan. Dalam estuari negatif, air laut yang datang, masuk lewat permukaan, mengalami sedikit pengenceran karena percampuran dengan air tawar yang terbatas jumlahnya. Kecepatan penguapan yang tinggi, kenyataannya, menyebabkan air permukaan ini menjadi hipersalin. Air hipersalin yang lebih berat daripada air laut, tenggelam ke dasar dan bergerak ke luar estuari sebagai arus dasar. Kehilangan air yang diceritakan pada estuari negatif membuat semburannya lebih lemah daripada estuari positif dan cenderung mempunyai permasalahan kualitas air daripada estuari positif. Suatu penampang salinitas estuari negatif adalah kebalikan penampang estuari positif dengan nilai tertinggi di dasar dan nilai terendah di permukaan.

Valle-Levinson (2010) menambahkan satu kelas lagi yaitu *estuari low-inflow*. Estuari tipe ini terjadi di daerah-daerah yang mempunyai laju penguapan yang tinggi namun dengan sedikit pengaruhnya dari debit aliran sungai (beberapa m^3/detik). Selama musim panas dan musim kering, proses penguapan bisa menyebabkan zona salinitas maksimum di dalam low-inflow estuari ini (bahkan menghasilkan kerak-kerak garam (Wolanski, 1986)). Daerah menuju ke laut dari

salinitas maksimum ini, densitas airnya menurun, seperti pada estuari negatif (inverse estuary). Daerah menuju ke darat salinitas maksimum ini, densitas airnya menurun, seperti pada estuari positif. Oleh karena itu, zona salinitas maksimum berperan sebagai penghalang yang menghalangi semburan air sungai yang mengarah ke laut dan intrusi air laut menuju ke daratan. Karena semburannya yang lemah dalam daerah salinitas maksimum yang menuju ke darat, estuari low-inflow cenderung menyebabkan masalah-masalah berkaitan dengan kualitas air.



Gambar 2.4 Tipe Estuari Berdasarkan Keseimbangan Air (Valle-Levinson, 2010)

2.2.3.3 Klasifikasi Estuari Berdasarkan Geomorfologi

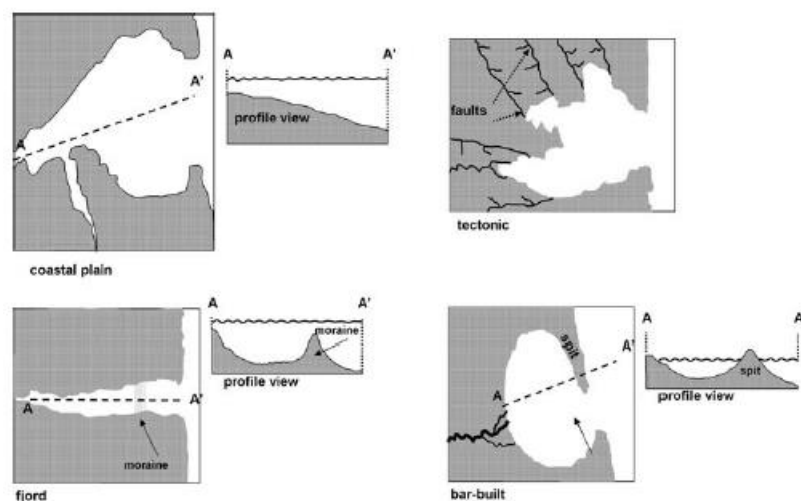
Menurut Valle-Levinson (2010), Estuari diklasifikasikan berdasarkan geomorfologinya sebagai *coastal plain*, *ffjord*, *bar-built*, dan *tectonic* (Pritchard, 1952). *Coastal Plain estuary* atau estuari dataran pesisir disebut pula *drowned river valleys*, terbentuk sebagai hasil dari kenaikan muka air laut zaman Pleistocene, yang dimulai 15.000 tahun lalu. Asalnya merupakan sungai-sungai, estuari ini terbentuk selama banjir yang terjadi ribuan tahun lalu karena kenaikan muka air laut. Estuari ini biasanya dikarakteristikan dengan sungai yang lebar

(beberapa kilometer) dan dangkal (sekitar 10 m), dengan rasio lebar/kedalaman yang sangat besar. Estuari seperti Teluk Chesapeake dan muara sungai Delaware dan Hudson merupakan contoh tipe ini.

Fjord estuari berhubungan dengan garis lintang yang sangat tinggi dimana aktivitas yang berhubungan dengan sungai es sangat tinggi. Estuari ini dicirikan dengan kanal yang dalam dan panjang dengan sebuah *sill*. *Sill* berhubungan dengan moraine baik glasier aktif atau glasier yang sudah mati. *Fjord* biasanya dalam dan sempit serta rasio lebar/kedalaman rendah dengan dinding tepi yang curam. *Fjord* ditemukan di Greenland, Alaska, Columbia, dan Chile.

Estuari *Bar-built* berasal dari pembentukan selat yang menjadi semi tertutup karena *littoral drift* yang menyebabkan pembentukan *sand bar* atau *spit* antara pantai dan laut. Beberapa *sand bar* bisa terpisah dari pantai dan menjadi pulau akibat hubungan dua atau lebih inlet yang bisa menghubungkan antara estuari dan laut. Contohnya daerah subtropis Amerika seperti Florida, Carolina utara, dan sebelah selatan Portugal.

Estuari tipe tektonik dibentuk karena gempa bumi atau patahan kerak bumi dan lipatan yang dibangkitkan oleh patahan di daerah dekat lautan. Patahan menyebabkan bagian kerak bumi tenggelam yang membentuk *hollow basin*. Estuari ini terbentuk ketika basin terisi oleh lautan. Contoh estuari tipe ini adalah teluk San Fransisco di Amerika, Pelabuhan Manukau di New Zealand, teluk Guaymas di Meksiko.



Gambar 2.5 Tipe Estuari Berdasarkan Geomorfologi (Ville-Levinson, 2010)

2.2.4 Pasang Surut

Pasang surut merupakan kenaikan dan penurunan muka air yang dihasilkan dari gaya tarik gravitasi antara bumi, matahari dan bulan. Arus pasang surut terkait dengan gerakan horizontal air. Arus pasang surut berubah kecepatan dan arahnya secara teratur. Pada pasang tinggi di mulut estuari, lereng air permukaan mendorong air menuju ke dalam estuari. Pada pasang rendah, lereng yang berkebalikan mengalirkan air keluar dari estuari. Pasang surut dan sirkulasinya berperan penting pada hidrodinamik, transportasi sedimen dan proses kualitas air di estuari dan perairan pesisir (Ji, 2008).

Pasang surut merupakan hasil dari gaya tarik gravitasi bulan dan matahari. Kecuali 2 hal tersebut, benda-benda langit lainnya tidak berpengaruh terhadap pasang surut. Hukum Gravitasi Newton menyatakan bahwa gaya tarik gravitasi antara 2 benda adalah sebanding dengan hasil massa kedua benda tersebut dibagi dengan kuadrat jarak diantara keduanya:

$$F = G \frac{m_1 m_2}{r^2} \quad (2.1)$$

Dimana F adalah gaya gravitasi, r adalah jarak antara pusat massa 2 benda, m_1 adalah massa benda 1, m_2 adalah massa benda 2, G adalah konstanta gravitasi ($6.67 \times 10^{-11} \text{Nm}^2\text{kg}^{-2}$). Bulan memiliki jarak terdekat dengan bumi dibandingkan benda-benda langit lainnya dan memiliki pengaruh terkuat terhadap pasang surut. Gaya sentrifugal dari rotasi bumi juga mempengaruhi pasang surut. Keseimbangan antara dua gaya mengontrol pasang surut di laut dalam. Pada bagian bumi yang menghadap bulan, ada gaya gravitasi yang lebih kuat karena jarak yang lebih pendek. Pada sisi yang jauh dari bulan, gaya gravitasi lebih lemah karena jarak yang lebih jauh. Perbedaan gaya ini menghasilkan pasang tinggi pada sisi yang menghadap bulan (karena gaya tarik bulan yang lebih kuat) dan pada sisi yang jauh dari bulan (karena gaya sentrifugal yang lebih kuat secara relatif) (Ji, 2008).

Tipe pasang surut ditentukan oleh frekuensi air pasang dengan air surut setiap harinya. Wyrski dalam Wismadi dan Handayani (2014) membagi pasang surut di perairan Indonesia menjadi empat tipe, yaitu:

1. *Diurnal tide* (pasang surut harian tunggal), dimana suatu perairan mengalami satu kali pasang dan satu kali surut dalam satu hari
2. *Semi diurnal tide* (pasang surut harian ganda), dimana suatu perairan mengalami dua kali pasang dan dua kali surut
3. *Mixed tide, prevailing diurnal* (pasang surut campuran condong harian tunggal), merupakan pasang surut yang tiap harinya terjadi satu kali pasang dan satu kali surut, namun terkadang juga dua kali pasang dan dua kali surut
4. *Mixed tide, prevailing semidiurnal* (pasang surut campuran condong harian ganda), dimana pasang surut yang tiap harinya terjadi dua kali pasang dan dua kali surut, namun ada kalanya mengalami satu kali pasang dan satu kali surut

Tipe pasang surut juga dapat ditentukan secara kuantitatif dengan menggunakan bilangan *Formzahl*, yakni bilangan yang dihitung dari nilai perbandingan antara amplitudo (tinggi gelombang) komponen harmonik pasang surut tunggal utama dan amplitudo komponen harmonik pasang surut ganda utama, secara matematis formula tersebut ditulis sebagai berikut:

$$F = \frac{O_1 + K_1}{M_2 + S_2} \quad (2.2)$$

Dimana F = bilangan *Formzahl*, O_1 = amplitudo komponen pasang surut tunggal utama yang disebabkan oleh gaya tarik bulan, K_1 = amplitudo komponen pasang surut tunggal utama yang disebabkan oleh gaya tarik bulan dan matahari, M_2 = amplitudo komponen pasang surut ganda utama yang disebabkan oleh gaya tarik bulan dan S_2 = amplitudo komponen pasang surut ganda utama yang disebabkan oleh gaya tarik matahari.

Berdasarkan nilai F , tipe pasang surut dapat dikelompokkan sebagai berikut:

- $F < 0.25$: pasang surut tipe ganda
- $0.26 < F < 1.5$: pasang surut campuran condong bertipe ganda
- $1.5 < F < 3$: pasang surut campuran condong bertipe tunggal
- $F > 3$: pasang surut tunggal

2.2.5 Arus

Aliran massa air, yang diukur dari kecepatan aliran (velocity) atau yang sering disebut sebagai arus (current), dimana biasanya dinyatakan dalam meter/detik, dan aliran biasanya cenderung mengarah ke arah laut khususnya pada saat air surut, namun dapat pula mengarah pada arah sebaliknya pada saat air pasang, yang sering disebut dengan istilah back water. Arah aliran di daerah muara pada bagian atas dapat berbeda arah dengan yang di bagian bawah, demikian pula arah pada satu sisi tepi sungai dapat berlawanan dibandingkan dengan pada sisi sungai yang lainnya. Demikian pula dalam kombinasi perbedaan arah yang sangat kompleks, baik pada penampang vertikal maupun lateral (Ongkosongo, 2010)

Luas perairan estuaria yang umumnya sempit dan dangkal menghilangkan pengaruh ombak yang masuk ke estuaria dari laut secara cepat. Sebagai akibat proses ini, pada umumnya estuaria merupakan tempat yang airnya tenang. Arus di estuaria terutama disebabkan oleh kegiatan pasang surut dan aliran sungai. Pada bagian hulu terjadi masukan air tawar yang terus menerus. Sebagian air tawar ini bergerak ke hilir estuaria, bercampur sedikit atau banyak dengan air laut. Sebagian besar air ini pada akhirnya mengalir keluar estuaria atau menguap untuk mengimbangi air berikutnya yang masuk di bagian hulu (Nybakken, 1988).

2.2.6 Pemodelan dan Metode Numerik

Menurut Fauziah (2005) model adalah suatu versi sistem yang disederhanakan. Sifat bentuk model dibedakan menjadi dua yaitu formal dan tidak formal. Lisan dan grafik merupakan bentuk model yang bersifat tidak formal. Statistik dan matematika merupakan bentuk model yang bersifat formal. Model merupakan suatu perumusan yang menirukan kejadian alam sebenarnya dengan membuat peramalan-peramalan. Manusia dapat memahami model yang disederhanakan meskipun tidak dapat melihat sistem tersebut secara lengkap pada satu waktu. Pembuatan model penting untuk menangkap dan mengerti jalannya sistem yang merupakan bagian kecil dari sistem tersebut.

Metode numerik adalah teknik untuk menyelesaikan permasalahan-permasalahan yang diformulasikan secara matematis dengan cara operasi hitungan

(arithmetic). Dalam metode numerik ini dilakukan operasi hitungan dalam jumlah yang sangat banyak dan berulang-ulang. Oleh karena itu diperlukan bantuan komputer untuk melaksanakan operasi hitungan tersebut. Metode numerik mampu menyelesaikan suatu sistem persamaan yang besar, tidak linier dan sangat kompleks yang tidak mungkin diselesaikan secara analitis (Triatmodjo, 1992).

2.2.7 MIKE 3

MIKE 3 adalah program komputer yang mensimulasikan sedimen kohesif, aliran, kualitas air, dan ekologi di danau, sungai, estuari, teluk, daerah pantai, dan laut dalam tiga dimensi. Dikembangkan oleh Danish Hydraulic Institute (DHI) Water & Environment (Denmark). MIKE 3 adalah model 3D dan menyelesaikan persamaan Momentum dan persamaan kontinuitas dalam 3 arah Cartesian. Mike 3 mensimulasi aliran unsteady dengan data bathimetri, variasi densitas, dan gaya eksternal seperti elevasi pasang surut, meteorologi, arus, dan kondisi hidrodinamik lainnya. Untuk penilaian kondisi hidrografi, MIKE 3 bisa digunakan untuk:

- penilaian kondisi hidrografi untuk membangun, mendesain, dan mengoperasikan struktur dan bangunan pada perairan stratified dan non-stratified,
- penelitian penilaian dampak lingkungan,
- penelitian sirkulasi oseanografi dan pantai, termasuk dinamika fine sedimen, hidrodinamika danau, simulasi es laut,
- optimasi pelabuhan dan infrastruktur pelindung pantai
- analisis resirkulasi cooling water dan desalinasi,
- pencemaran air dan proyek restorasi,
- perkiraan ekologis dan kualitas air serta fenomena-fenomena yang membutuhkan struktur 3D.

MIKE 3 Flow Model FM terdiri dari beberapa modul yaitu : *Hydrodynamic Module*, *Transport Module*, *ECO Lab/Oil Spill Module*, *Particle Tracking Module*, *Mud Transport Module*, dan *Sand Transport Module* (DHI). MIKE 3 terdiri dari 3 modul dasar: *hydrodynamic (HD) module*, *advection-*

dispersion (AD) *module* dan *turbulence module*. Berbagai tampilan seperti deskripsi permukaan bebas, variasi densitas, dan deskripsi aliran laminar terlibat di dalam 3 modul dasar ini secara opsional (Moharir et al, 2014, DHI). Dalam penelitian ini, hanya digunakan *hydrodynamic module* dan sub modul yaitu *temperature/salinity module* untuk memodelkan data penelitian.

Hydrodynamic module adalah salah satu modul yang terdapat dalam software MIKE. *Hydrodynamic* (HD) *module* adalah model matematik untuk menghitung perilaku hidrodinamika air terhadap berbagai macam fungsi gaya, misalnya kondisi angin tertentu dan muka air yang sudah ditentukan di *open model boundaries*. *Hydrodynamic module* digunakan untuk mensimulasi perbedaan muka air dan arus dalam menghadapi berbagai fungsi gaya di danau, sungai, estuari dan pantai. Modul hidrodinamika menghitung hasil aliran dan distribusi garam, suhu sesuai dengan berbagai gaya dan kondisi batas. Efek baroklinik terkait garam dan variasi suhu serta turbulensi merupakan turunan dari modul hidrodinamika (DHI).

Hydrodynamic Module berdasarkan solusi numerik dari *incompressible* Reynolds tiga dimensi dengan persamaan Navier-Stokes untuk asumsi Boussinesq dan tekanan hidrostatik. Model terdiri dari persamaan kontinuitas, momentum, temperatur, salinitas, dan densitas serta dengan pendekatan skema turbulen. Densitas tidak tergantung pada tekanan, tetapi hanya temperatur dan salinitas. Untuk model 3D, permukaan bebas dihitung menggunakan pendekatan transformasi koordinat-sigma atau menggunakan kombinasi antara sigma dan sistem koordinat z-level (DHI). Berikut adalah persamaan yang ditunjukkan menggunakan koordinat Cartesian yang bersumber dari DHI.

Persamaan kontinuitas lokal dirumuskan:

$$\frac{\partial u}{\partial x} + \frac{\partial v}{\partial y} + \frac{\partial w}{\partial z} = S \quad (2.3)$$

Dan persamaan momentum dua horizontal untuk komponen x dan komponen y adalah sebagai berikut:

$$\frac{\partial u}{\partial t} + \frac{\partial u^2}{\partial x} + \frac{\partial vu}{\partial y} + \frac{\partial wu}{\partial z} = fv - g \frac{\partial \eta}{\partial x} - \frac{1}{\rho_0} \frac{\partial p_a}{\partial x} - \frac{g}{\rho_0} \int_z^\eta \frac{\partial \rho}{\partial x} dz + F_u + \frac{\partial}{\partial z} \left(v_t \frac{\partial u}{\partial z} \right) + u_s S \quad (2.4)$$

$$\frac{\partial v}{\partial t} + \frac{\partial v^2}{\partial y} + \frac{\partial uv}{\partial x} + \frac{\partial wv}{\partial z} = fu - g \frac{\partial \eta}{\partial y} - \frac{1}{\rho_0} \frac{\partial p_a}{\partial y} - \frac{g}{\rho_0} \int_z^\eta \frac{\partial \rho}{\partial y} dz + F_v + \frac{\partial}{\partial z} \left(v_t \frac{\partial v}{\partial z} \right) + v_s S \quad (2.5)$$

Dalam Modul Hidrodinamika, perhitungan transport temperatur, T, dan salinitas, s mengikuti persamaan difusi-transport umum sebagai berikut:

$$\frac{\partial T}{\partial t} + \frac{\partial uT}{\partial x} + \frac{\partial vT}{\partial y} + \frac{\partial wT}{\partial z} = F_T + \frac{\partial}{\partial z} \left(D_v \frac{\partial T}{\partial z} \right) + \hat{H} + T_s S \quad (2.6)$$

$$\frac{\partial s}{\partial t} + \frac{\partial us}{\partial x} + \frac{\partial vs}{\partial y} + \frac{\partial ws}{\partial z} = F_s + \frac{\partial}{\partial z} \left(D_v \frac{\partial s}{\partial z} \right) + s_s S$$

Difusi horizontal dirumuskan sebagai berikut:

$$(F_T, F_s) = \left[\frac{\partial}{\partial x} \left(D_h \frac{\partial}{\partial x} \right) + \frac{\partial}{\partial y} \left(D_h \frac{\partial}{\partial y} \right) \right] (T, s) \quad (2.7)$$

Keterangan simbol:

t	Waktu
x, y, z	Koordinat Cartesian
u, v, w	Komponen <i>flow velocity</i>
T, s	Temperatur dan salinitas
D_v	Koefisien difusi turbulen vertikal (eddy)
\hat{H}	Persamaan berkaitan dengan pertukaran panas dengan atmosfer
S	Besarnya discharge di poin sumber
T_s, s_s	Temperatur dan salinitas sumber
F_T, F_s, F_c	Difusi horizontal
D_h	Koefisien difusi horizontal
H	Kedalaman

(Halaman ini sengaja dikosongkan)

BAB 3

METODOLOGI PENELITIAN

3.1 Lokasi dan Waktu Penelitian

Lokasi penelitian berada di sepanjang sungai Kali Wonokromo tepatnya Kali Wonokromo yang melewati area ekowisata Mangrove Wonorejo. Kawasan ini termasuk dalam kawasan Pantai Timur Surabaya. Masyarakat sekitar area ekowisata Mangrove Wonorejo menyebut Kali Wonokromo yang melewati area Ekowisata Mangrove Wonorejo sebagai Kali Londo, dan muaranya sebagai muara Wonorejo.

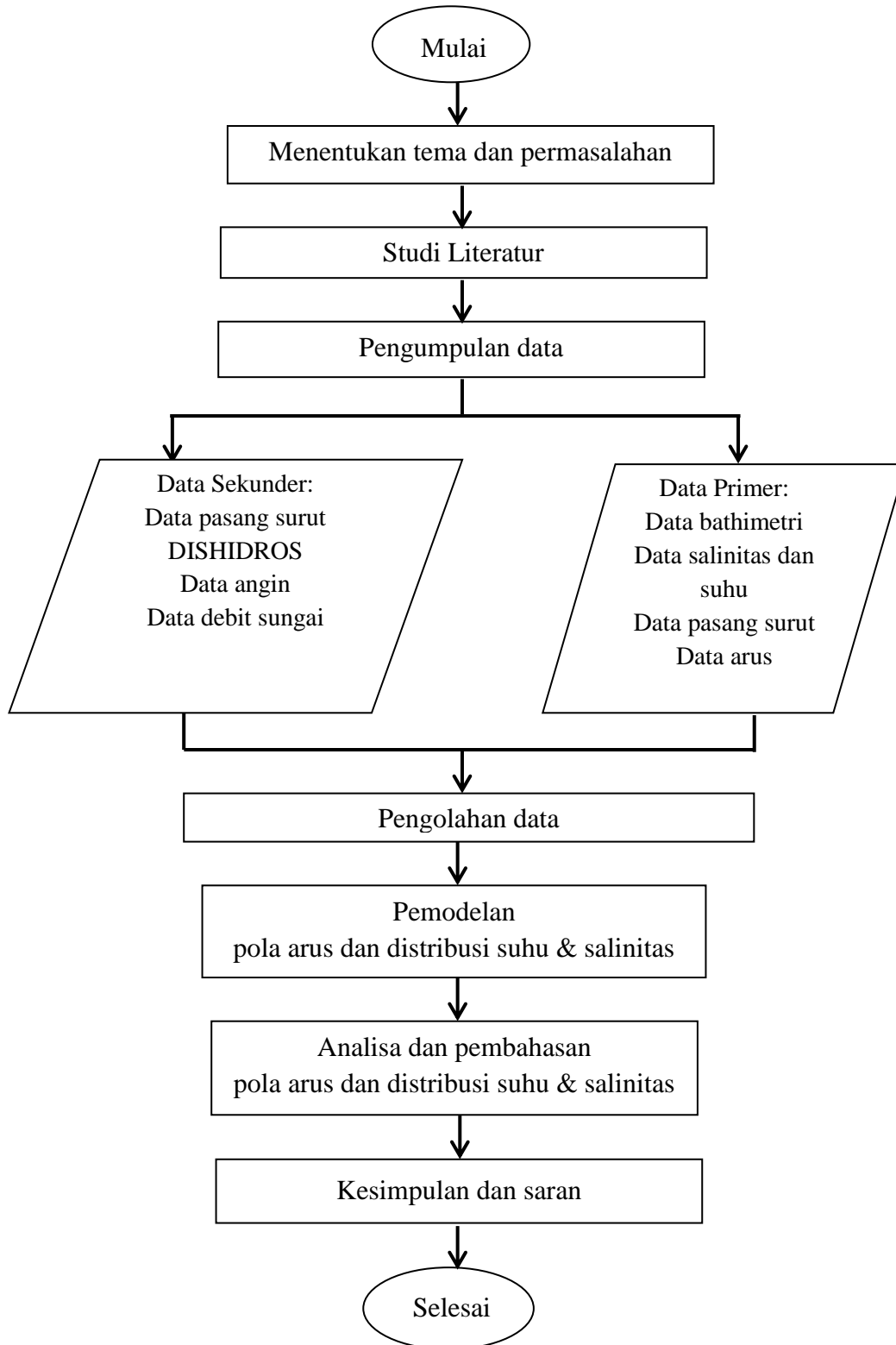
Data penelitian diambil dari perairan Kali Londo sampai muara sungai Wonokromo hingga ke arah laut lepas yang mengarah ke selat Madura, Gambar 3.1 menunjukkan lokasi penelitian. Dari lokasi penelitian, pengukuran sampel dilakukan di 10 titik. Penentuan titik lokasi penelitian untuk pengambilan sampel air menggunakan GPS. Kegiatan penelitian dilaksanakan selama sebelas bulan, yaitu bulan Agustus 2015 hingga Juni 2016. Pengukuran temperatur salinitas di perairan Kali Londo dilakukan pada musim kemarau.



Gambar 3.1 Lokasi Penelitian (Google earth, 2015)

3.2 Alur Penelitian

Alur penelitian yang dilakukan adalah sebagai berikut:



Gambar 3.2 Diagram Alir Penelitian

Alur penelitian seperti pada Gambar 3.2 dapat dijelaskan sebagai berikut:

1. Studi Literatur

Dilakukan studi literatur/studi pustaka melalui buku, jurnal, website, dan laporan-laporan sebelumnya yang berkaitan dengan tema dan permasalahan yang akan diteliti. Hal ini berguna untuk memperjelas permasalahan yang ada, melengkapi data, ataupun mendapatkan data tambahan sebagai pembandingan

2. Pengumpulan Data

Sebelum memulai pengerjaan, langkah pertama yang dilakukan adalah pengumpulan data sehingga pekerjaan bisa dikerjakan dengan lancar. Data yang dikumpulkan meliputi data sekunder dan data primer untuk keperluan simulasi dan validasi model.

Data sekunder merupakan data pendukung yang diperoleh dari berbagai instansi, yang meliputi:

- a. data pasang surut diperoleh dari Dinas Hidrooseanografi Tentara Nasional Indonesia Angkatan Laut Republik Indonesia.
- b. data angin diperoleh dari BMKG
- c. data debit sungai diperoleh dari Jasa Tirta.

Data primer meliputi data yang didapat dari pengukuran dan pengambilan sampel di lapangan. Data primer yang dikumpulkan yaitu : data bathimetri, data pasang surut, data salinitas, data suhu perairan, serta data arus. Alat dan bahan yang digunakan dalam mengumpulkan data primer antara lain:

- a. GPS : untuk penentuan posisi
- b. Echosounder : untuk survei bathimetri
- c. Temperatur salinity YSI : untuk mengukur temperatur salinitas
- d. ADCP : untuk pengukuran arus
- e. metion : untuk pengambilan sampel air
- f. botol air : untuk wadah sampel air
- g. tisu dan lap : untuk membersihkan alat

Metode yang digunakan untuk pengumpulan data primer, yaitu:

a. bathimetri

pengukuran bathimetri dilakukan dengan menggunakan alat perum gema (echosounder). Pada prinsipnya echosounder memancarkan gelombang akustik

ke dasar laut, lalu dipantulkan oleh dasar laut dan diterima kembali oleh perum gema. Berdasarkan waktu tempuh gelombang dari transduser-dasar laut-transduser dan cepat rambat gelombang akustik dalam medium air laut akan dapat diketahui kedalaman perairan yang diukur.

b. temperatur dan salinitas

pengukuran temperatur salinitas dilakukan di titik-titik yang dijadikan lokasi pengambilan sampel dengan menggunakan alat temperatur salinitas dari YSI. Alat ini dilengkapi probe yang berisi sensor untuk mengukur salinitas dalam satuan ppt (part per thousand) dan temperatur dalam satuan derajat celcius.

c. arus

untuk mengukur arus menggunakan ADCP. Dengan alat ini bisa diketahui kecepatan arus suatu perairan.

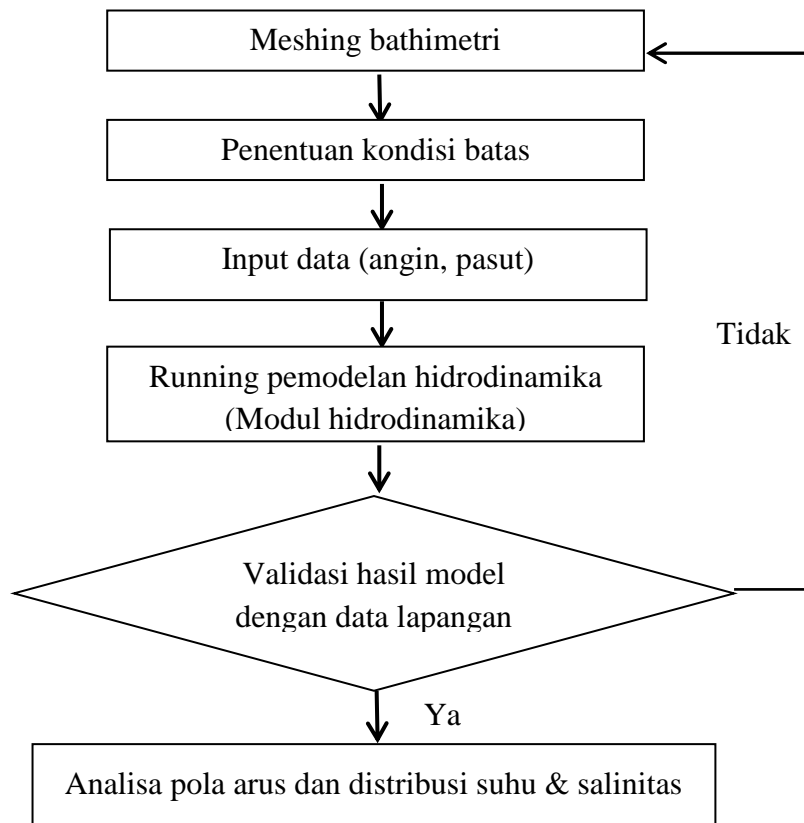
3. Pengolahan Data

Pengolahan data merupakan tahap awal dari pemodelan. Setelah data terkumpul, maka langkah selanjutnya adalah pembuatan kontur berdasarkan peta bathimetri. Gambar Muara Wonorejo yang telah digambar dalam autocad (.dwg) diubah ke format *.dxf. Setelah itu, gambar batimetri diubah dalam format *.xyz untuk mendapatkan titik koordinat penggambaran bathimetri pada modul mike zero generator. Setelah itu menentukan lokasi geografis (*projection*) daerah studi. Kemudian memberi penentuan kondisi batas sehingga bisa dilakukan meshing. File mode batimetri disimpan dalam format *.mesh.

4. Pemodelan Pola Arus dan Distribusi Suhu Salinitas

Pemodelan pola arus, distribusi suhu dan salinitas menggunakan software MIKE 3 dengan modul hidrodinamika. Dalam simulasi, ada beberapa option yang harus diisi yaitu *Domain*, *Time*, dan *Modul Selection*. *Domain* yaitu batimetri daerah studi dalam format *.mesh yang sudah dibuat sebelumnya. *Time* merupakan waktu simulasi, kapan simulasi dimulai dan berakhir serta berapa interval waktunya. *Module selection* yaitu memilih modul yang akan digunakan. Karena penelitian ini menggunakan simulasi hidrodinamika maka modul yang dipilih adalah *Hydrodynamic module*.

Alur pemodelan dapat diilustrasikan seperti Gambar 3.3 berikut:



Gambar 3.3 Diagram Alir Pemodelan

5. Validasi Model

Pada validasi model, dilakukan kalibrasi untuk mengetahui apakah model yang dibuat cukup mewakili kondisi lapangan secara nyata. Dalam validasi ini, data pasang surut hasil pemodelan akan dikalibrasi dengan data pasang surut hasil pengukuran di lapangan.

6. Analisa Pola Arus dan Distribusi Suhu Salinitas

Untuk menganalisa pola arus dan distribusi suhu serta salinitas dilakukan dengan pemodelan menggunakan program software MIKE 3. Pola arus menggunakan modul Hidrodinamika, sedangkan distribusi suhu dan salinitas dengan modul Temperatur-Salinitas.

a. Analisa Pola Arus

Untuk melakukan analisa pola arus, terlebih dahulu dilakukan proses simulasi pola arus. Dalam simulasi pola arus, menggunakan data pasut dan data debit sungai. Data debit sungai akan mempengaruhi pola arus yang terjadi. Hasil yang diperoleh dari simulasi ini adalah kecepatan arus yang dinyatakan dalam m/s dan arah arus yang dinyatakan dalam derajat.

b. Analisa Distribusi Suhu dan Salinitas

Simulasi distribusi suhu dan salinitas merupakan kelanjutan dari simulasi pola arus. Data penguapan dan data curah hujan ditambahkan sebagai input data pada simulasi ini. Dalam melakukan analisa distribusi suhu dan salinitas diperlukan beberapa faktor tambahan sebagai parameter seperti suhu dan salinitas.

7. Analisa Tipe Estuari

Untuk melakukan analisa tipe estuari dibutuhkan informasi profil vertikal temperatur suhu dan salinitas. Simulasi yang dilakukan menggunakan software MIKE 3 menghasilkan output berupa hasil 3 dimensi. Hasil simulasi 3 dimensi ini akan menunjukkan penyebaran arus, suhu, dan salinitas terhadap kedalaman tertentu. Dari data hasil penelitian yang kemudian disimulasikan akan terlihat distribusi nilai suhu dan salinitas pada tiap lapisan kedalaman. Salinitas di setiap lapisan kedalaman menjadi indikasi pengaruh intrusi air laut dan air tawar dari sungai serta proses pengadukan yang terjadi. Berdasarkan karakteristik tersebut, bisa ditelusuri tipe estuari yang terbentuk.

8. Kesimpulan dan Saran

Setelah memodelkan, menganalisa dan melakukan pembahasan terhadap hasil penelitian maka langkah selanjutnya adalah membuat kesimpulan yang sesuai dengan perumusan masalah. Kesimpulan merupakan hasil dari tujuan yang ingin dicapai. Pemodelan akan menggambarkan pola arus dan penyebaran suhu salinitas yang terjadi di muara Wonorejo. Selain itu, diharapkan bisa memberikan saran yang tepat untuk keperluan penelitian-penelitian mendatang yang mungkin akan dilakukan dengan topik yang sama sehingga memudahkan dalam pengerjaan penelitian tersebut.

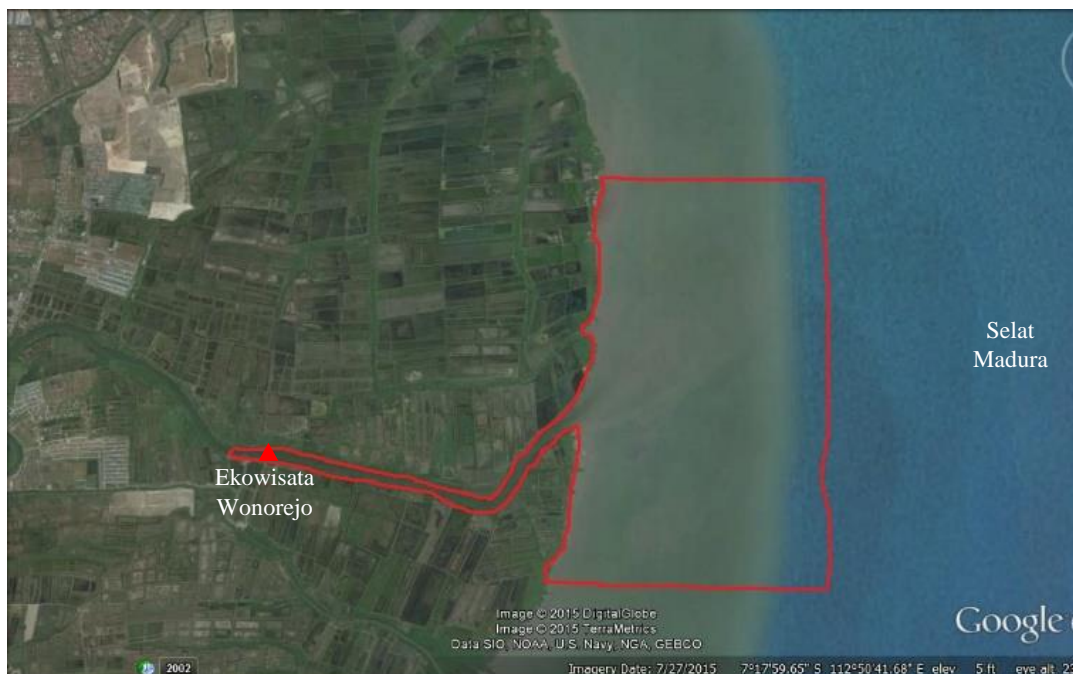
BAB 4

HASIL DAN PEMBAHASAN

4.1 Pemodelan

4.1.1 Lokasi Pemodelan

Daerah penelitian adalah Kali Londo yang berada di area ekowisata mangrove Wonorejo. Ekowisata Mangrove terletak di Wonorejo kecamatan Rungkut Surabaya bagian Timur. Secara geografis, Kali Londo yang dijadikan lokasi pemodelan terletak pada $7^{\circ}17.254' \text{ S}$ - $7^{\circ}18.630' \text{ S}$ dan $112^{\circ}49.344' \text{ E}$ - $112^{\circ}51.692' \text{ E}$. Penamaan Kali Londo diberikan oleh warga sekitar Wonorejo untuk menyebut Kali Wonokromo yang berasal dari pintu air Jagir yang terus mengalir melintasi kawasan Wonorejo Timur dan bermuara ke laut lepas, yaitu Selat Madura. Batas utara, selatan, dan timur daerah model merupakan laut lepas yang berada di selat Madura, sedangkan batas barat daerah model merupakan kali Londo. Lokasi pemodelan dalam penelitian ini seperti ditunjukkan pada gambar 4.1 berikut



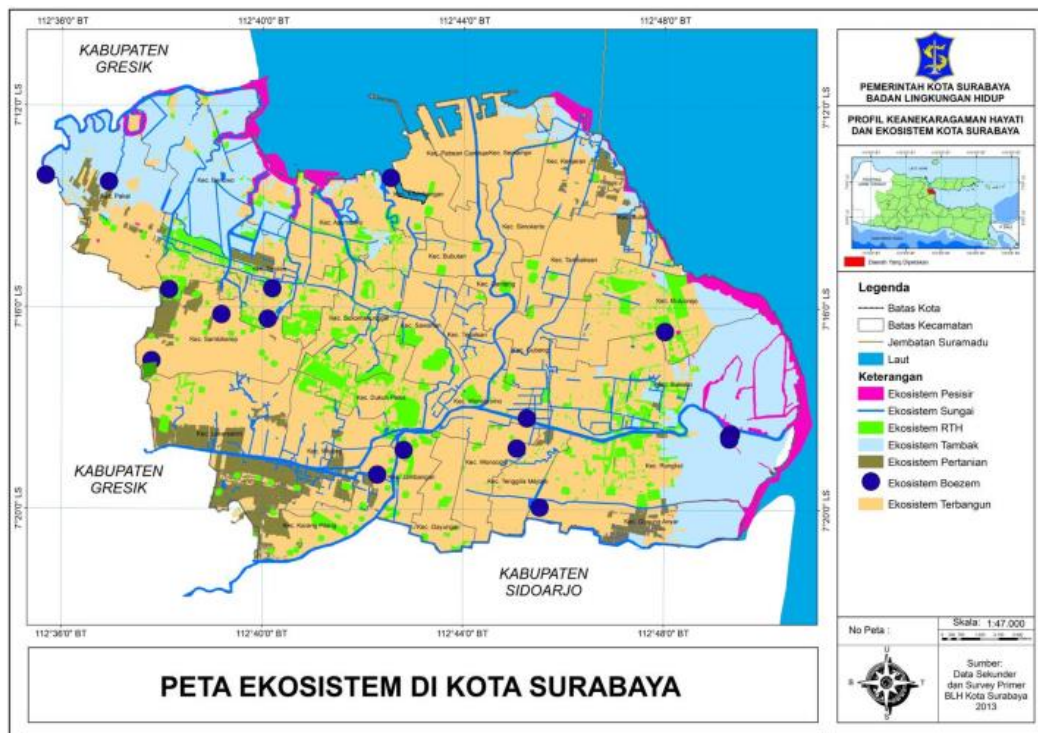
Gambar 4.1 Lokasi Pemodelan (Google earth, 2015)

4.1.2 Karakteristik Area Pemodelan

Wonorejo merupakan salah satu kawasan lahan basah yang berada di pantai timur Surabaya (Pamurbaya) dengan luas sekitar 50 hektar dan terdiri dari areal pertambakan dan kawasan mangrove sekunder yang dipengaruhi oleh pasang surut sehingga menyediakan *mudflat* yang luas untuk tempat mencari makan bagi burung (Lukman, 2010).



Gambar 4.2 Mudflat Wonorejo (BLH Surabaya, 2013)



Gambar 4.3 Peta Ekosistem di Kota Surabaya (BLH, 2013)

Menurut BLH (2013), Kali Wonokromo di Boezem Wonorejo merupakan sungai kelas IV, yaitu yang peruntukannya dapat digunakan untuk mengairi pertamanan, menurut Peraturan Daerah Kota Surabaya No. 2 Th. 2004, tapi saat ini fungsi sungai Kali Wonokromo yaitu:

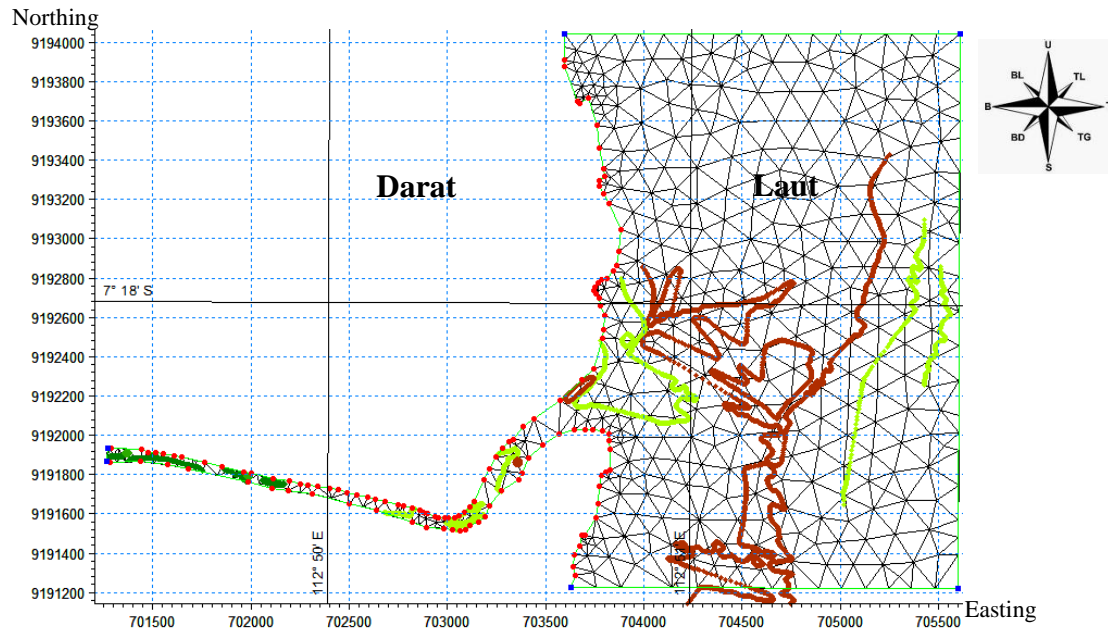
- a. Pasokan bahan baku air minum (PDAM) dan pasokan air untuk proses produksi
- b. Drainase kota kawasan permukiman, komersial, kegiatan perikanan, peternakan, mengairi tanaman, pariwisata air, pemasok air tawar untuk tambak di wilayah Surabaya Timur
- c. Lalu lintas perahu nelayan

Area pemodelan muara Wonorejo berbatasan dengan Selat Madura. Tipe perairan Selat Madura setengah tertutup (semi-enclosed sea). Menurut Fajar dkk (2014), tipe pasang surut pada perairan Selat Madura adalah pasang surut campuran condong harian ganda (*Mixed Tide Prevailing Semidiurnal*). Hal ini juga sesuai dengan hasil penelitian Siswanto dan Nugraha (2014). Kondisi purnama memiliki durasi pasang surut yang cukup lama sehingga dapat menghasilkan elevasi dan pasang yang tinggi, sedangkan kondisi perbani memiliki durasi pasang surut yang cukup pendek sehingga menyebabkan elevasi dan pasang yang rendah (Fajar dkk, 2014). Gelombang relatif rendah (kurang dari 0.5 m), arus harian rendah (kecepatan kurang dari 1 knot), perairan dangkal, secara alami daerah ini ditumbuhi mangrove disepanjang pantai dan berpotensi sebagai wilayah perikanan laut dan pertambakan, adanya sungai besar yang bermuara di wilayah ini dengan beban sedimen tinggi maka pertumbuhan garis pantai juga cukup cepat meningkatkan potensi perluasan lahan (BLH, 2010). Kondisi temperatur di muara Wonorejo pada bulan Maret 2016 sekitar 33°C dan salinitas sebesar 23,2 ppt (BLH, 2016).

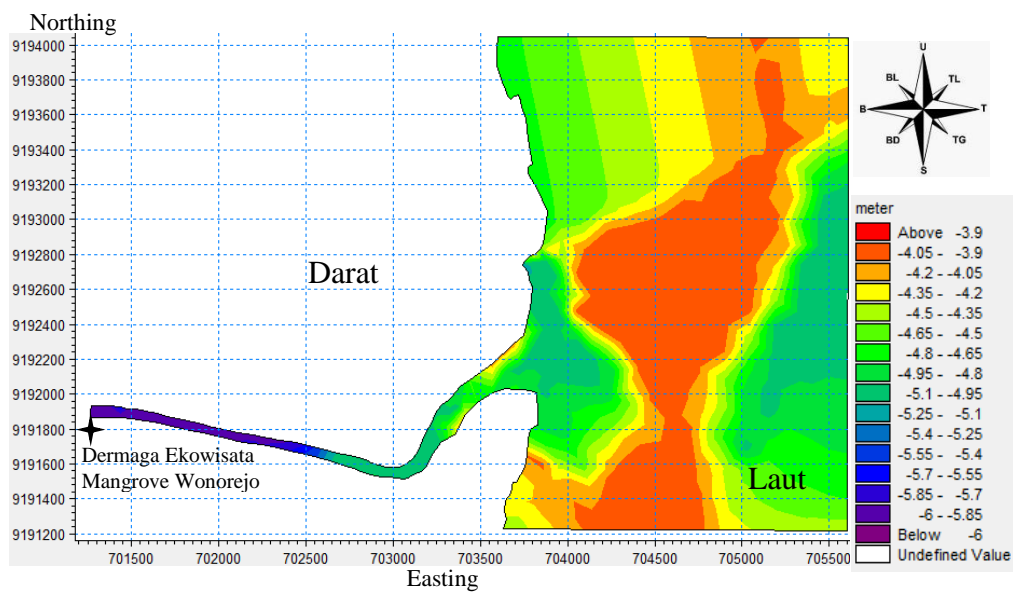
4.1.3 Pemodelan Batimetri Muara Wonorejo

Untuk menggambarkan lokasi penelitian dalam model, langkah awal yang dilakukan adalah pemodelan batimetri. Pemodelan batimetri menggunakan *mesh generator* yang ada dalam software MIKE, dimana input yang digunakan adalah peta batimetri Kali Londo yang telah diolah sebelumnya menjadi data darat dan data laut ke dalam format *.xyz. Daerah pemodelan batimetri menggunakan grid elemen hingga tidak terstruktur berbentuk segitiga. Jumlah elemen yang terdapat

pada file sebanyak 841 dan jumlah nodes/titik dalam file yaitu 527. Gambar 4.4 menunjukkan grid area pemodelan dan Gambar 4.5 menunjukkan *meshing* batimetri area pemodelan.



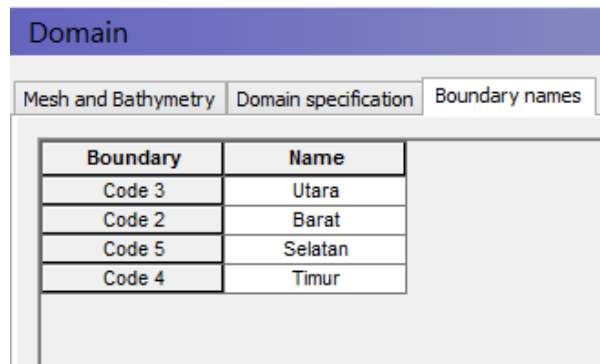
Gambar 4.4 Grid Pemodelan Kali Londo Muara Wonorejo
(Sumber: Software MIKE)



Gambar 4.5 *Meshing* Batimetri Kali Londo Muara Wonorejo
(Sumber: Software MIKE 3)

4.1.4 Pendefinisian Kondisi Batas

Ketika menginputkan peta *meshing* bathimetri pada domain, maka akan muncul kode untuk open sea boundaries. Kode tersebut bisa diubah penamaannya untuk mempermudah memahami boundaries (Gambar 4.6).



Gambar 4.6 Penamaan untuk Kode Boundary
(Sumber: Software MIKE)

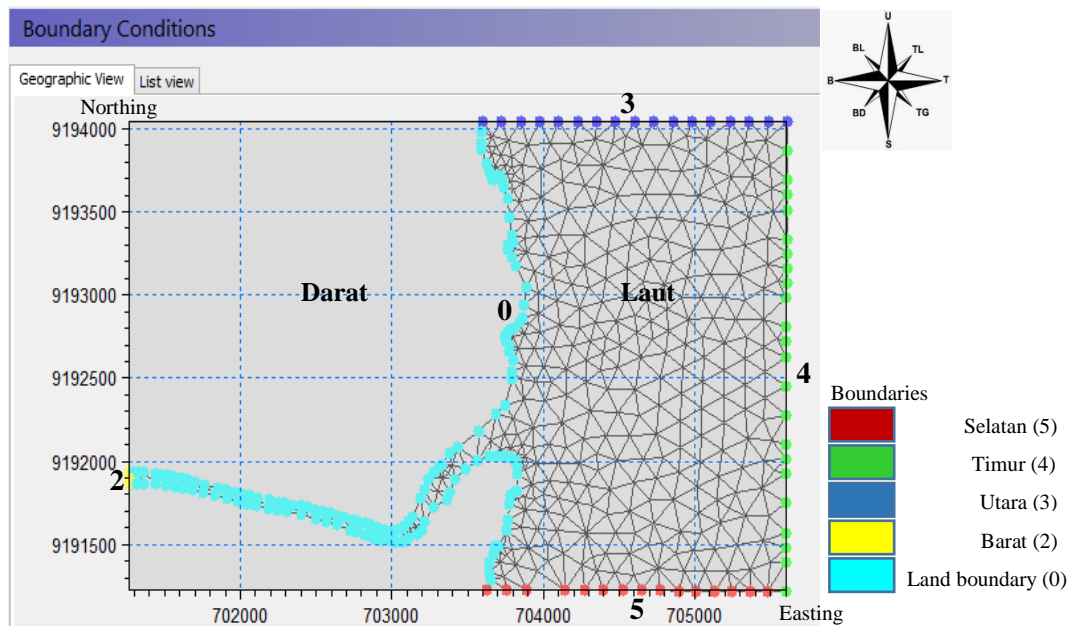
Kode akan muncul pada kondisi batas dan memerlukan input/masukan kondisi batas. Pemodelan muara Wonorejo menggunakan 2 kondisi batas yang diinputkan yaitu data pasang surut dan data debit sungai. Batas sebelah utara, selatan, dan timur menggunakan data pasang surut sebagai kondisi batas, sedangkan data debit sungai digunakan sebagai kondisi batas untuk daerah model sebelah barat. Tabel 4.1 menyajikan rincian penamaan kode *boundary*, format serta inputan pada pemodelan Muara Wonorejo.

Tabel 4.1 Rincian Kondisi Batas Pemodelan Muara Wonorejo

Boundary Code	Boundary name	Format	Input
Code 0	Land	-	
Code 2	Barat	<i>Specified discharge</i>	Data debit sungai
Code 3	Utara	<i>Specified level</i>	Data pasang surut
Code 4	Timur	<i>Specified level</i>	Data pasang surut
Code 5	Selatan	<i>Specified level</i>	Data pasang surut

(Sumber: Software Mike)

Untuk memberikan keterangan yang lebih jelas mengenai kondisi batas pemodelan, dapat dilihat pada Gambar 4.7



Gambar 4.7 Kondisi Batas pada Pemodelan Muara Wonorejo
(Sumber: Software MIKE)

4.1.5 Parameter Pemodelan Muara Wonorejo

Parameter yang dimasukkan pada perhitungan hidrodinamika akan menghasilkan output berupa kecepatan arus dan perubahan elevasi muka air. Parameter pada temperatur-salinitas modul akan menghasilkan output berupa pola penyebaran salinitas dan pola penyebaran temperatur. Parameter pemodelan yang digunakan dapat dilihat pada pada Tabel 4.2 berikut.

Tabel 4.2 Parameter Pemodelan

No	Keterangan	Nilai
1	<i>No. of time step</i>	720
2	<i>Time step interval</i>	3600 sec
3	Output simulasi	720 hr (30 days)
4	Input simulasi	Batimetri, data angin, data pasang surut, debit sungai, temperatur, dan salinitas

(Sumber: Software MIKE)

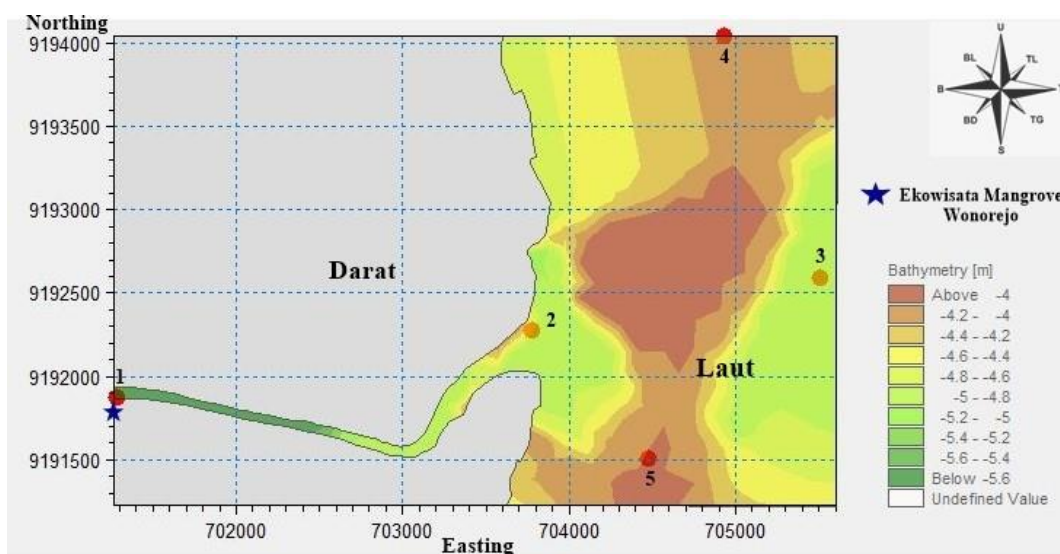
4.2 Simulasi Pemodelan

Setelah input data batimetri, maka tahapan selanjutnya adalah simulasi hidrodinamika. Dalam simulasi hidrodinamika, data angin, data pasang surut, dan debit sungai diinputkan pada pemodelan. Output yang dihasilkan berupa elevasi muka air dan kecepatan arus. Hasil simulasi ini kemudian divalidasi dengan data sekunder yang didapat dari BMKG Surabaya dan data pengukuran ADCP.

Pengukuran kecepatan arus langsung di lapangan dilakukan dengan ADCP pada titik di daerah laut. Untuk pengukuran temperatur salinitas dilakukan pada 10 titik dan 5 titik untuk validasi yang mewakili sungai, muara, dan laut. Pada Temperatur-Salinitas Modul di pemodelan MIKE 3, dimasukkan data salinitas dan temperatur pada kondisi batas yang telah ditetapkan sebelumnya. Untuk validasi, hasil simulasi temperatur salinitas dibandingkan dengan hasil temperatur salinitas dari pengukuran di lapangan.

4.3 Validasi Simulasi Model

Validasi dilakukan dengan membandingkan antara hasil pemodelan dengan data hasil pengukuran yang dimiliki, baik data primer maupun sekunder. Validasi bertujuan untuk mengetahui apakah output hasil pemodelan sesuai atau mendekati kondisi sebenarnya di lapangan. Gambar 4.8 menunjukkan lokasi titik-titik untuk validasi model.



Gambar 4.8 Lokasi Titik-Titik Pengukuran untuk Validasi

Validasi yang dilakukan meliputi validasi pada modul hidrodinamika dan modul temperatur salinitas karena 2 modul tersebut yang digunakan pada pemodelan MIKE 3.

Pada modul hidrodinamika, validasi dilakukan dengan membandingkan elevasi pasang surut dan kecepatan arus pada model dengan data yang dimiliki. Sedangkan pada modul temperatur salinitas, dibandingkan data hasil model dengan data pengukuran di lapangan.

Metode validasi yang dilakukan pada studi ini yaitu rerata persentase kesalahan dari eror absolut dan *root mean square error* (RMSE). Rerata persentase kesalahan dari eror absolut juga disebut MAPE (*mean absolute percentage error*). Formula untuk menghitung persentase kesalahan dari eror absolut adalah sebagai berikut:

$$MAPE = \left(\frac{1}{M} \sum_{l=1}^M \left| \frac{e_l}{Z_{n+l}} \right| \right) 100\% \quad (4.1)$$

dimana, M adalah banyaknya data dan e_l didapatkan dari persamaan berikut:

$$e_l = Z_{n+l} - \hat{Z}_n(l) \quad (4.2)$$

dimana, Z_{n+l} adalah data pengukuran dan $\hat{Z}_n(l)$ adalah data pemodelan.

Formula untuk menghitung RMSE yaitu:

$$RMSE = \frac{1}{M} \sum_{l=1}^M e_l^2 \quad (4.3)$$

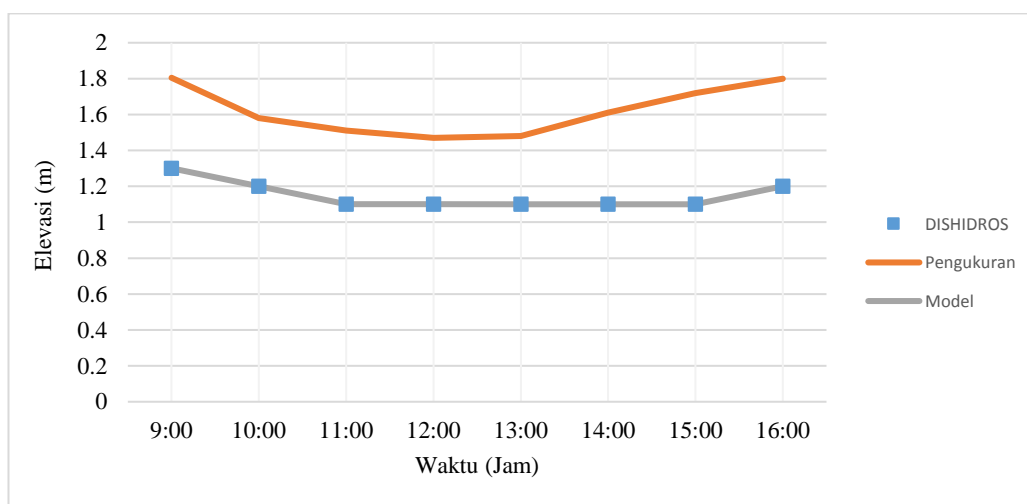
(Wei, 2006)

4.4 Validasi Pasang Surut

Pasang surut merupakan salah satu input data pemodelan. Data pasang surut area Wonorejo yang digunakan untuk input pada pemodelan adalah data sekunder yang diperoleh dari data DISHIDROS. Penggunaan data dari DISHIDROS ini dikarenakan pengukuran pasang surut di lapangan hanya 8 jam

dan tidak dapat dijadikan acuan elevasi untuk pemodelan. Data pasang surut dimodelkan bertujuan untuk mengetahui kondisi pasut saat pengukuran dilakukan.

Pengukuran pasang surut lapangan dilakukan di sungai Kali Londo pada tanggal 23 Agustus 2015 pukul 09.00-16.00 WIB. Sebagai pembanding, digunakan data pasang surut acuan DISHIDROS dan data pasang surut hasil pemodelan yang sesuai dengan waktu pengukuran di lapangan. Gambar 4.9 menunjukkan grafik perbandingan antara pasang surut dari hasil pengukuran di lapangan dengan pasang surut dari data DISHIDROS dan pemodelan.

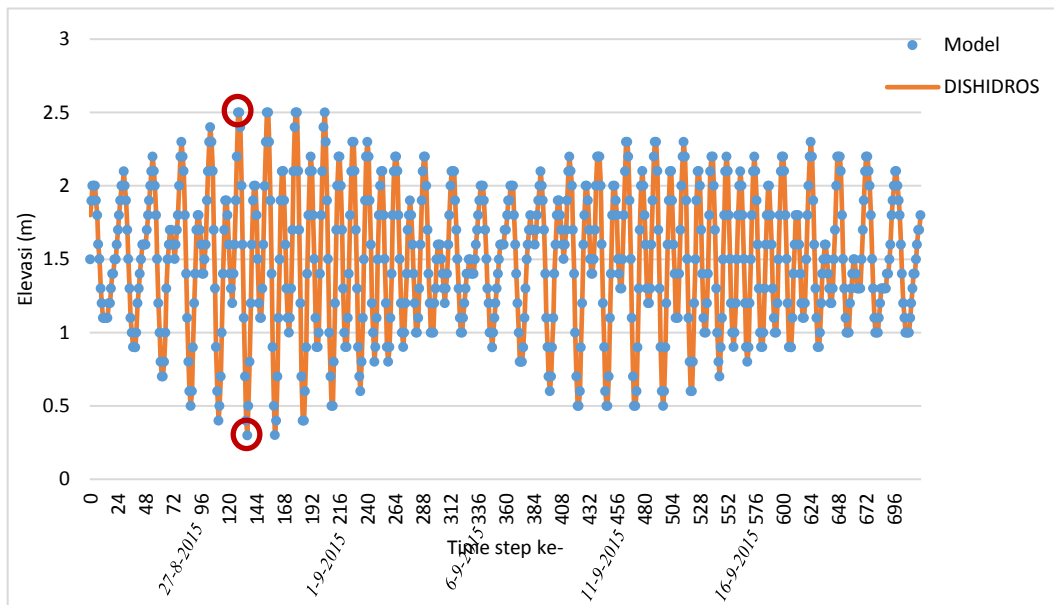


Gambar 4.9 Perbandingan Elevasi Pasang Surut antara Pengukuran, Hasil Model, dan Data DISHIDROS

Secara umum, elevasi pasang surut antara hasil pemodelan dengan pengukuran di lapangan menunjukkan tren yang sesuai dimana elevasi pasang surut mulai menurun pada pukul 09.00 WIB dan elevasi pasang surut naik saat waktu menunjukkan pukul 15.00 WIB.

4.5 Hasil Simulasi Pasang Surut

Perbandingan elevasi pasut antara hasil pemodelan dan data dari DISHIDROS ditunjukkan seperti pada Gambar 4.10. Pemodelan data pasang surut menggunakan data DISHIDROS, dilakukan dari tanggal 23 Agustus 2015 pukul 00:00 hingga tanggal 21 September 2015 pukul 23.00, yaitu selama 720 jam.



Gambar 4.10 Perbandingan Elevasi Pasang Surut antara DISHIDROS dan Pemodelan

Dalam kondisi pasang tertinggi, elevasi pasang surut mencapai ketinggian 2.5 m pada time step ke 128, 129, 153, 154, 178, 179, dan 203 pada pemodelan atau pada tanggal 28 Agustus 2015 pukul 08.00 dan 09.00, tanggal 29 Agustus 2015 pukul 09.00 dan 10.00, tanggal 30 Agustus 2015 pukul 10.00 dan 11.00 dan tanggal 31 Agustus 2015 pukul 11.00. Kondisi surut terendah elevasi pasut mencapai ketinggian 0.3 m terjadi pada time step ke 136 dan 160 (Tanggal 28 Agustus 2015 pukul 16.00 dan tanggal 29 Agustus 2015 pukul 16.00). Menurut penelitian Fajar dkk (2014) dan Siswanto & Nugraha (2014), tipe pasang surut pada perairan Selat Madura adalah pasang surut campuran condong harian ganda (*Mixed Tide Prevailing Semidiurnal*).

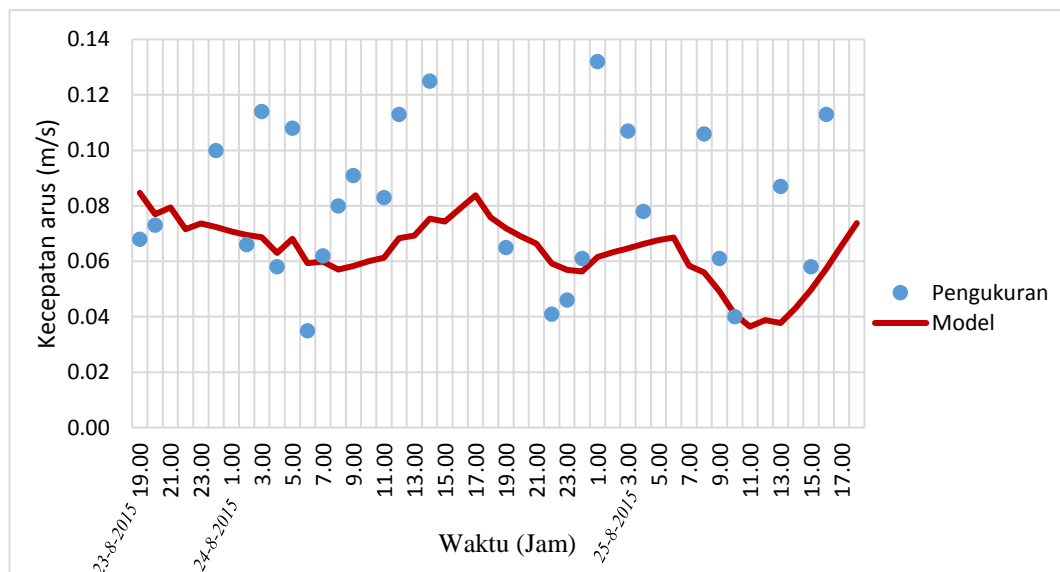
4.6 Validasi Hasil Model Pola Arus

Validasi pola arus dilakukan dengan membandingkan data hasil model dengan data hasil pengukuran langsung (ADCP) di Titik 3 yang berada di laut (Gambar 4.8). Pengukuran arus dilakukan dibagian permukaan perairan mulai tanggal 23 Agustus 2015 pukul 19.00 hingga tanggal 25 Agustus 2015 pukul 18.00.

Gambar 4.11 menunjukkan grafik perbandingan antara kecepatan arus dari hasil pemodelan dan pengukuran di lapangan. Persentase kesalahan dan RMSE yang terjadi seperti pada Tabel 4.4 sebagai berikut:

Tabel 4.3 Nilai Kesalahan antara Pola Arus Pengukuran dan Model

Rerata Persentase kesalahan	RMSE
28,69 %	0,032

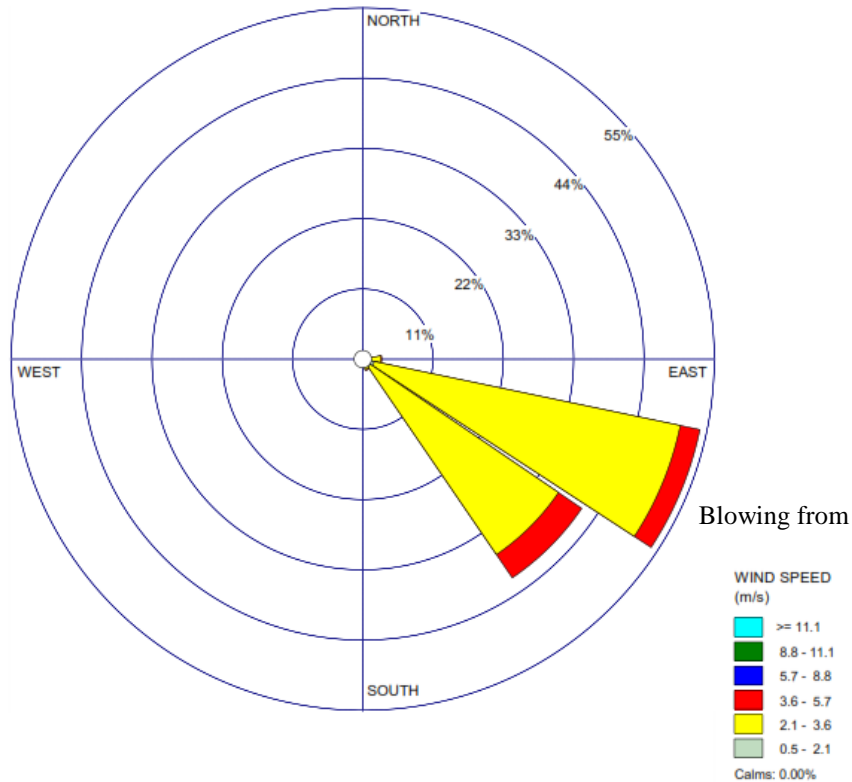


Gambar 4.11 Grafik Validasi Arus Pengukuran Lapangan dengan Arus Model

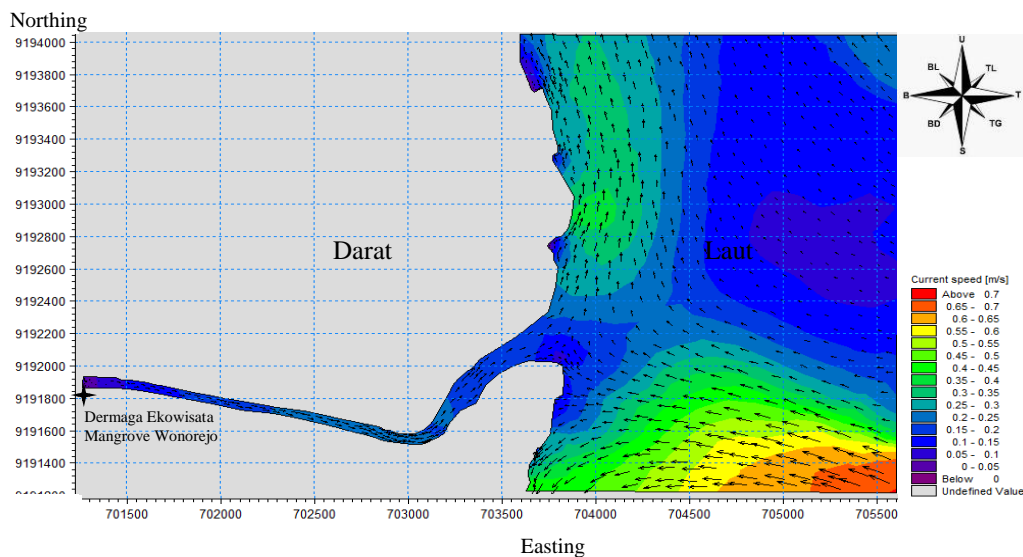
Hasil validasi arus laut menunjukkan rerata persentase kesalahan sebesar 28.69 %. Kecepatan arus hasil pengukuran di lapangan lebih bervariasi dibanding kecepatan arus pemodelan karena pemodelan menggunakan pendekatan dengan berbagai asumsi dari persamaan matematis sehingga hasil simulasi hanya sebagai pendekatan kondisi lapangan, sehingga hasil yang ditampilkan akan jauh atau sedikit berbeda dari kondisi lapangan (Fajar dkk, 2014).

Berdasarkan data angin yang diperoleh dari BMKG, simulasi dilakukan dengan memasukkan inputan data angin, sehingga bisa terlihat distribusi pergerakan arah arus pada bulan Agustus 2015 melalui *wind rose* seperti pada Gambar 4.12. Angin menggerakkan arus umumnya berasal dari Tenggara menuju

ke Barat Laut. Hal ini sesuai dengan simulasi pemodelan hidrodinamika (Gambar 4.13), dimana arah vektor menuju ke Barat Laut.



Gambar 4.12. *Wind rose* Distribusi Arah dan Kecepatan Arus Permukaan Agustus-September 2015 (Sumber: BMKG, 2015)



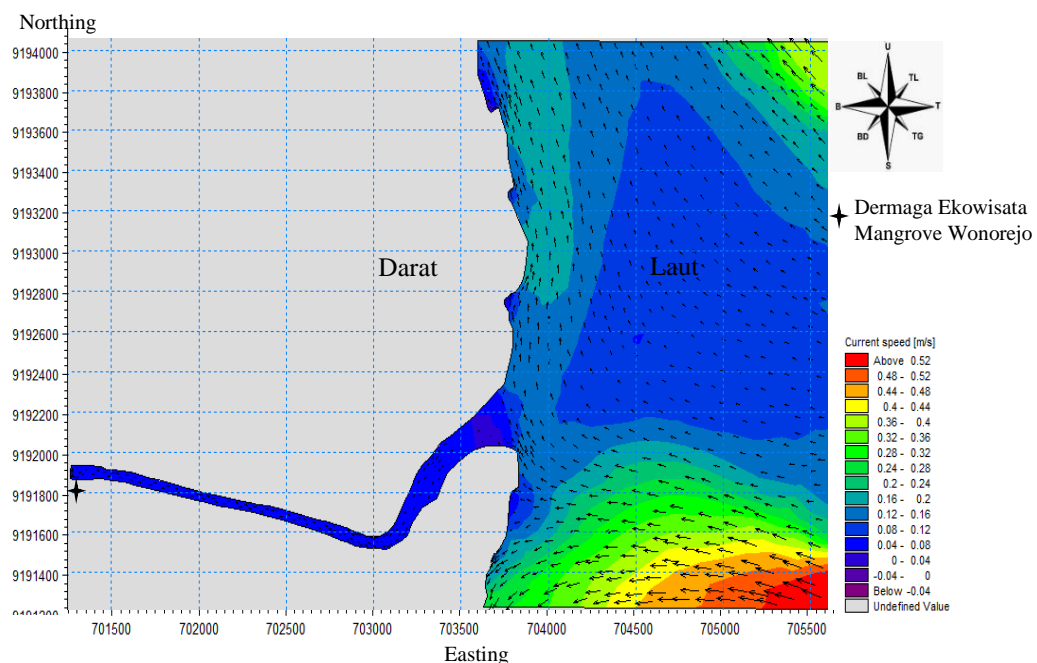
Gambar 4.13 Contoh Simulasi Hidrodinamika yang Menunjukkan Arah Arus menuju Barat Laut.

Distribusi arus dominan menuju arah Barat Laut dapat dikarenakan arus yang terjadi di bulan Agustus pada waktu Muson Timur dimana angin berhembus dari Benua Australia menuju benua Asia, dan karena menuju equator, maka dibelokkan ke arah kanan (Nitasari, 2013).

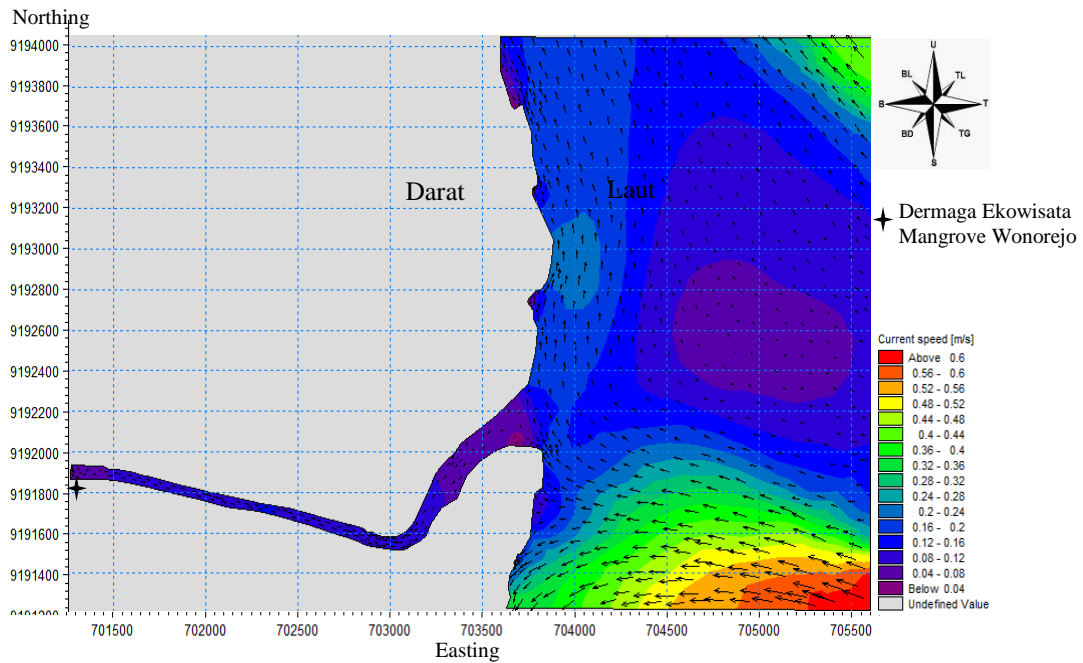
4.7 Hasil Simulasi Pola Arus

Simulasi menggunakan modul hidrodinamika juga bertujuan untuk mengetahui pola arus yang terjadi karena pengaruh pergerakan elevasi pasang surut. Simulasi ini melihat pola arus pada saat kondisi menuju pasang, pasang tertinggi, saat menuju surut, dan surut terendah.

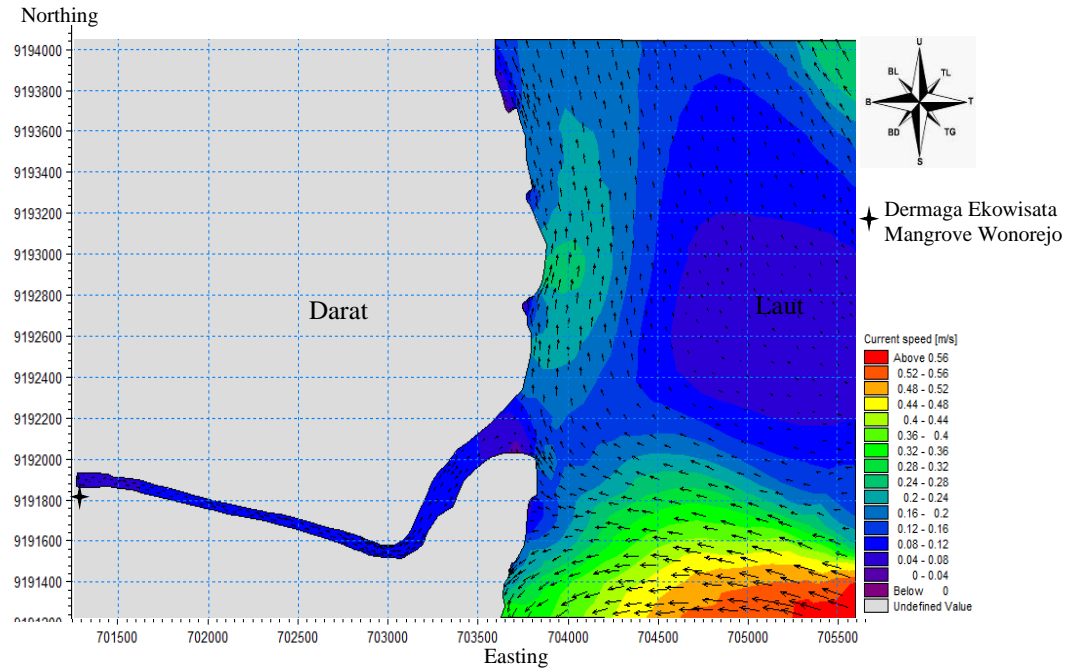
Gambar 4.14 dan Gambar 4.15 menunjukkan pola arus pada saat menuju pasang dan saat pasang tertinggi. Kondisi menuju pasang pada time step ke- 151 dan pasang tertinggi pada time step ke- 154. Gambar 4.16 dan Gambar 4.17 menunjukkan pola arus pada saat menuju surut dan pola arus saat surut terendah. Pola arus pada saat menuju surut pada time step ke- 156 dan saat surut terendah pada time step ke- 160.



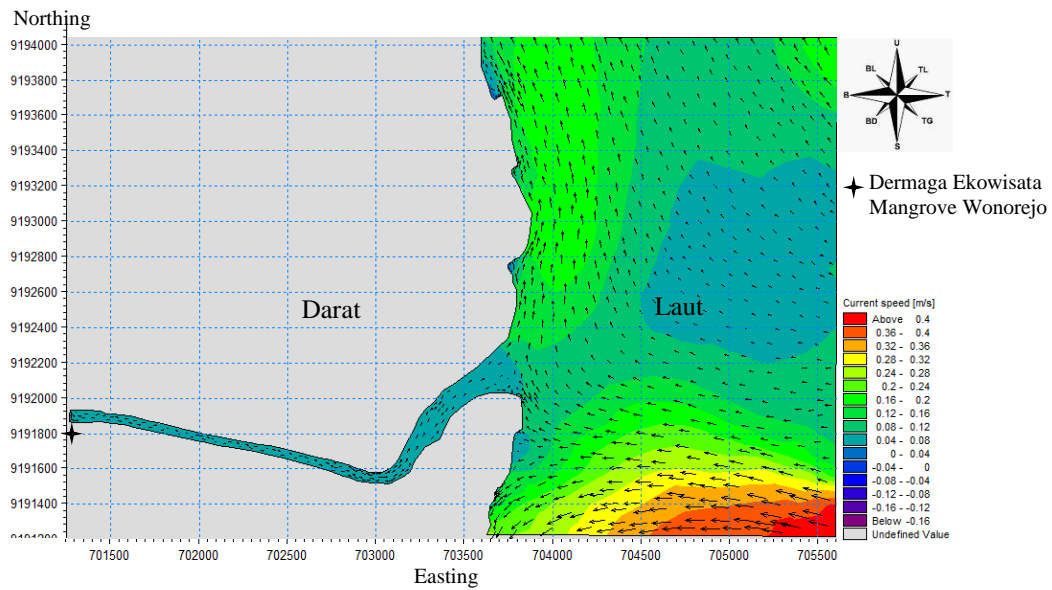
Gambar 4.14 Pola Arus saat Menuju Pasang



Gambar 4.15 Pola Arus saat Pasang Tertinggi



Gambar 4.16 Pola Arus saat Menuju Surut



Gambar 4.17 Pola Arus saat Surut Terendah

Pada saat kondisi menuju pasang, terlihat bahwa pola arus bergerak dari tenggara menuju ke arah barat laut menuju muara dan sebagian berbelok ke arah utara dan arah selatan. Kecepatan arus pada bagian hulu bernilai antara 0,04 – 0,08 m/s, pada bagian muara atau mulut sungai kecepatannya antara 0,12 – 0,16 m/s. Pada saat pasang tertinggi kecepatan arus di bagian hulu sungai antara 0,04 – 0,08 m/s, pada bagian muara sungai 0,08 – 0,12 m/s. Arus di muara bertambah kecepatannya saat kondisi menuju pasang, akan melambat saat kondisi pasang tertinggi.

Pada saat kondisi menuju surut, pola arus tetap bergerak dari tenggara menuju barat laut. Ketika bertemu muara, arus akan berbelok ke arah utara, sebagian ada yang berbelok ke selatan. Kecepatan arus di hulu pada saat menuju surut yaitu antara 0,04 – 0,08 m/s sedangkan kecepatan arus pada muara sungai berkisar antara 0,12 – 0,2 m/s. Pada saat surut terendah, kecepatan arus di bagian hulu antara 0,04 – 0,08 m/s sedangkan pada bagian muara sungai, kecepatan arus bernilai antara 0,04 – 0,12 m/s. Kecepatan arus di hulu saat kondisi menuju surut maupun pada saat surut terendah stabil dengan nilai 0,04 – 0,08 m/s. Peningkatan kecepatan arus dibagian muara terjadi pada saat kondisi menuju surut.

Pada saat kondisi menuju pasang ataupun kondisi menuju surut nilai kecepatan arus lebih tinggi dibandingkan pada saat pasang tertinggi maupun surut

terendah, karena arus bergerak horizontal menuju kesetimbangan, pada saat menuju surut dan menuju pasang massa air akan bergerak akibat adanya kekuatan laju arus pasut dari kondisi tersebut dan pada saat kekuatan laju arus mencapai kesetimbangan atau puncak tertinggi, maka kecepatan yang dihasilkan mendekati nol (Fajar dkk, 2014).

4.8 Pengukuran Temperatur Salinitas di Estuari Wonorejo

Pengukuran nilai temperatur salinitas estuari Wonorejo dilakukan dengan cara pengukuran langsung di lapangan menggunakan alat pengukur temperatur dan salinitas oleh YSI. Beberapa titik lokasi dipilih untuk dilakukan pengukuran. Titik-titik tersebut mewakili daerah pemodelan yaitu daerah sungai, muara sungai, dan laut yang masih berhubungan dengan estuari Wonorejo. Pengukuran dilaksanakan tanggal 23 Agustus 2015, mulai pukul 10.39 WIB hingga 15.04 WIB.

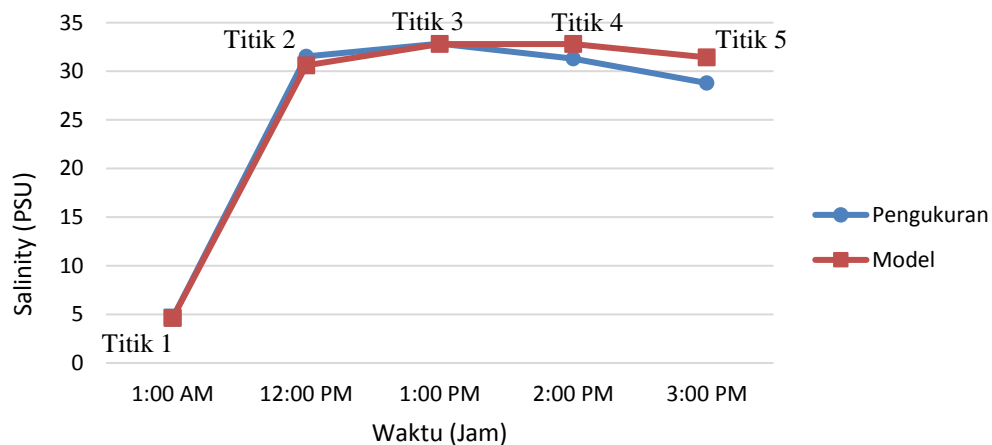
Berikut Tabel 4.4 menunjukkan lokasi-lokasi titik validasi temperatur salinitas di estuari Wonorejo.

Tabel 4.4 Titik Validasi Pengambilan Sampel

Lokasi	Easting	Northing
Titik 1	701282.0062	9191876.198
Titik 2	703772.1	9192275.3
Titik 3	705509.1	9192588.9
Titik 4	704927.9	9194040.2
Titik 5	704472	9191505.6

4.8.1 Validasi Simulasi Sebaran Salinitas

Untuk membandingkan salinitas yang didapatkan dari pengukuran dilapangan dengan salinitas hasil pemodelan dilakukan validasi sebaran salinitas seperti ditampilkan pada Gambar 4.18. Salinitas yang dibandingkan pada 5 titik yang dijadikan acuan validasi. Salinitas pemodelan dipilih dari data yang waktunya disesuaikan dengan waktu pengukuran lapangan di tiap titik. Besarnya nilai kesalahan dan RMSE tiap titik validasi disajikan dalam Tabel 4.4.



Gambar 4.18 Grafik Perbandingan Salinitas antara Hasil Pengukuran dan Pemodelan

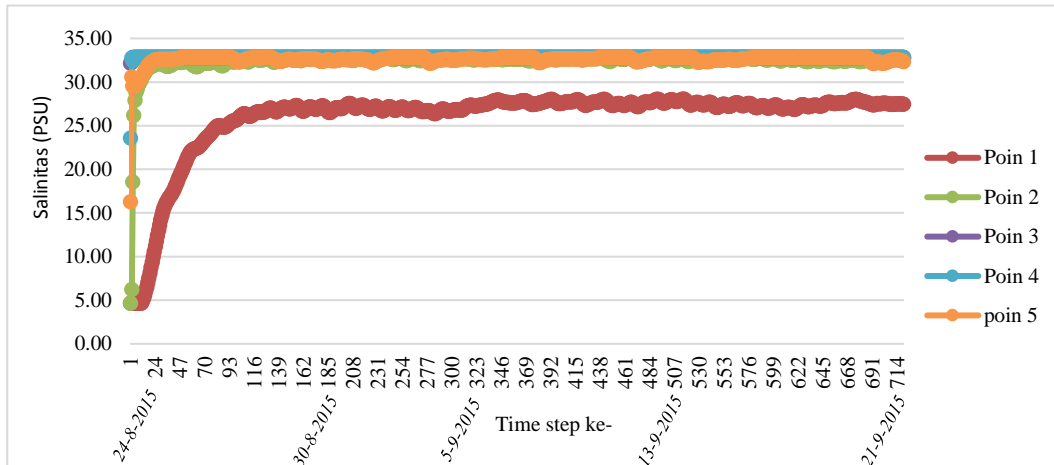
Tabel 4.5 Nilai Kesalahan dan RMSE Salinitas pada 5 Titik Validasi

Lokasi	Nilai Error	RMSE
Titik 1	0,00 %	0
Titik 2	2,92 %	0,0343
Titik 3	0,12 %	0,0015
Titik 4	4,76 %	0,0555
Titik 5	9,2 %	0,0988

Secara umum, nilai kesalahan pada 5 titik menunjukkan error yang rendah. Hal ini berarti pemodelan sudah sesuai dengan perwakilan pengukuran di lapangan. Bisa dilihat dari grafik pada Gambar 4.18 bahwa tren model hampir menyerupai hasil pengukuran.

4.8.2 Hasil Simulasi Sebaran Salinitas

Hasil simulasi salinitas pada pemodelan untuk 5 titik validasi diolah dalam bentuk grafik dan dapat dilihat pada Gambar 4.19. Dari grafik salinitas, terlihat bahwa salinitas pada poin 1 lebih rendah daripada salinitas di titik-titik yang lain. Hal ini karena di titik 1 pengaruh air tawar masih kuat dalam pencampuran air di daerah ini, sehingga menyebabkan salinitas rendah.



Gambar 4.19 Grafik Salinitas di 5 Titik Validasi

4.8.2.1 Sebaran Salinitas secara Horizontal

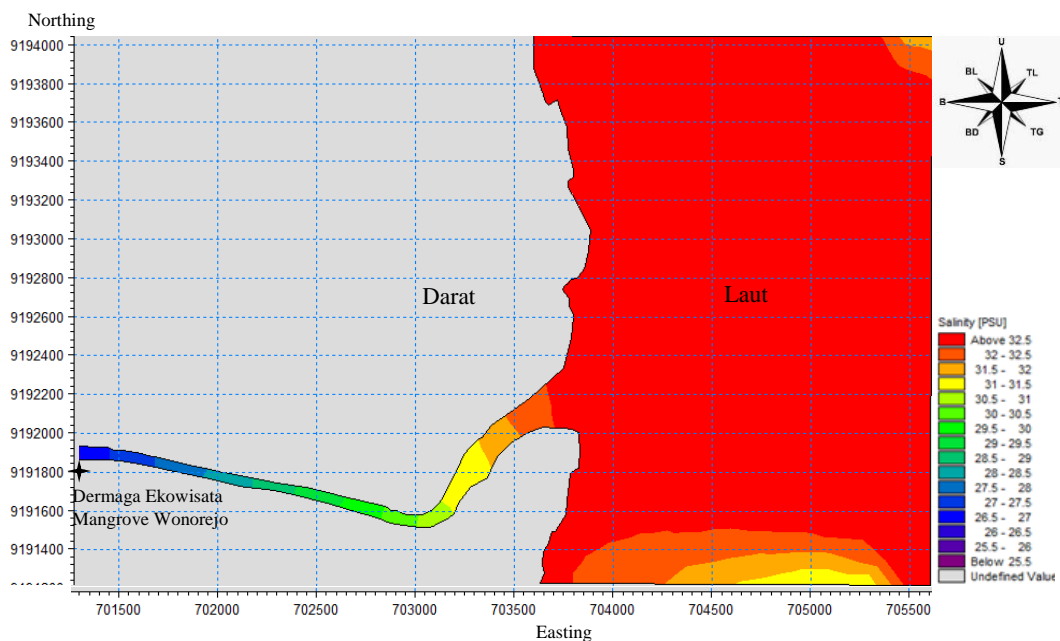
Gambar 4.20 – 4.23 menunjukkan arah arus dan sebaran salinitas permukaan secara horizontal berturut-turut pada kondisi menuju pasang, saat pasang tertinggi, kondisi menuju surut dan saat surut terendah. Daerah badan sungai yang mendekati mulut sungai/muara terlihat bahwa nilai salinitas lebih bervariasi dibanding laut lepas. Hal ini karena adanya proses pencampuran air tawar yang berasal dari hulu sungai dengan air asin yang berasal dari laut. Proses pencampuran air tawar dan air laut di daerah estuari ini secara umum dipengaruhi oleh besarnya pemasukan air tawar dan pengadukan oleh pasang surut.

Pada kondisi menuju pasang, simulasi salinitas seperti ditunjukkan pada Gambar 4.20. Dari hasil simulasi terlihat bahwa pola salinitas saat kondisi menuju pasang menunjukkan bahwa salinitas terdorong ke arah badan atau hulu sungai. Hal ini merupakan pengaruh dari pasang surut, angin, dan debit sungai yang diinputkan pada simulasi. Di bagian hulu, nilai salinitas berada dibawah nilai 25,5 PSU dan nilai salinitas semakin bertambah kearah mulut sungai. Salinitas di muara sungai diatas 32,5 PSU dimana nilai tersebut sama dengan nilai salinitas di area laut.

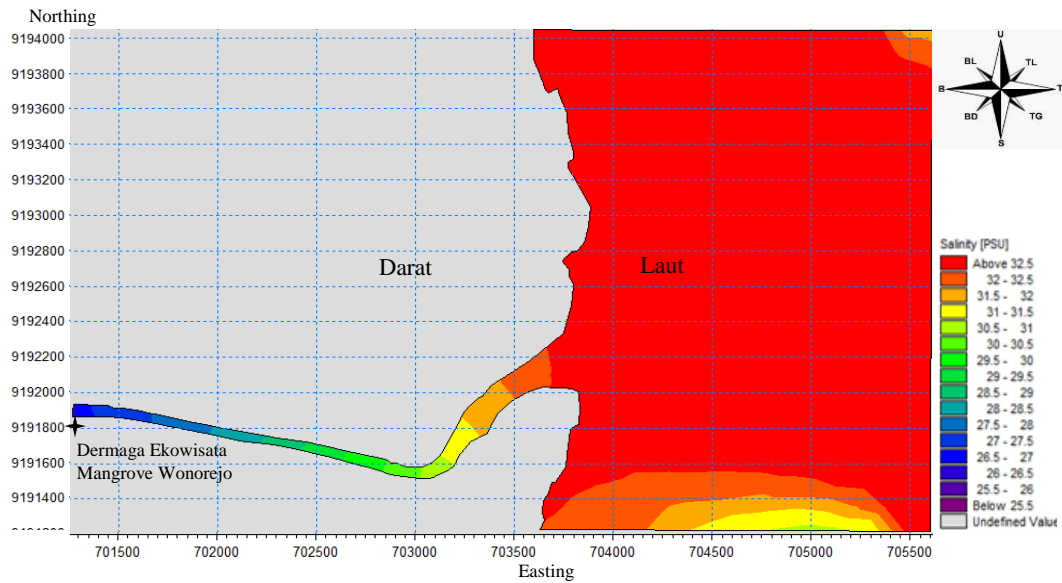
Sebaran salinitas dipengaruhi oleh kecepatan arus yang dibangkitkan oleh pasang surut dimana kecepatan arus di muara sungai ketika kondisi menuju pasang

lebih tinggi dibandingkan kecepatan arus saat pasang tertinggi. Hal ini menyebabkan salinitas dari laut terdorong lebih jauh ke arah badan sungai saat kondisi menuju pasang dibanding saat pasang tertinggi.

Pada saat pasang tertinggi, pola sebaran salinitas menunjukkan pergerakan salinitas semakin besar ke arah sungai (Gambar 4.21). Hal ini bisa terlihat dari daerah dengan salinitas antara 31,5 – 32 PSU di badan sungai dekat muara. Nilai salinitas di muara cenderung hampir sama dengan salinitas pada saat kondisi menuju pasang yaitu diatas 32,5 PSU. Nilai salinitas di muara cenderung sama dengan nilai salinitas di area laut lepas. Sedangkan untuk bagian hulu sungai, nilai salinitas berada dibawah 25,5 PSU. Saat pasang tertinggi kecepatan arus melambat, sehingga dorongan salinitas ke arah badan sungai tidak sebesar saat menuju pasang.



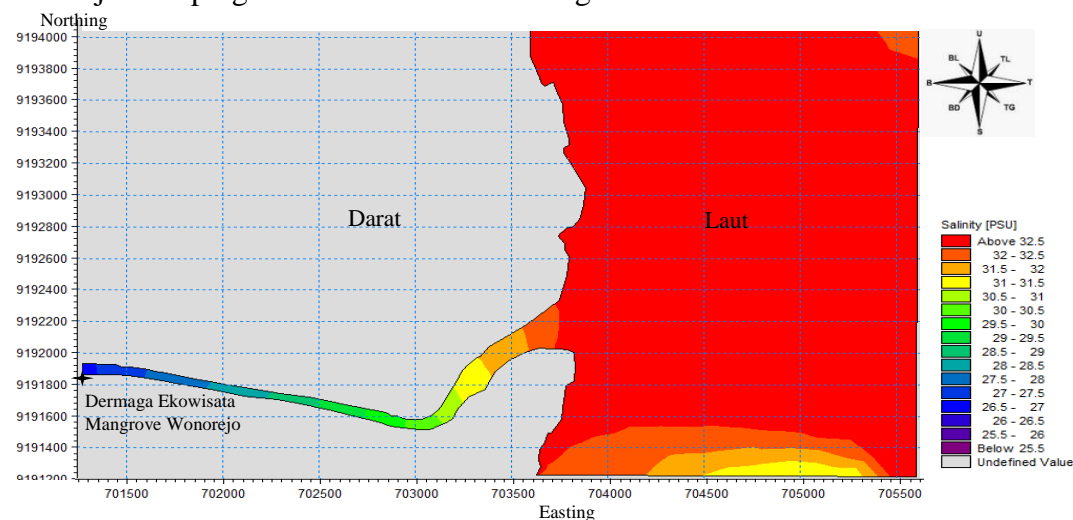
Gambar 4.20 Sebaran Salinitas pada Kondisi Menuju Pasang



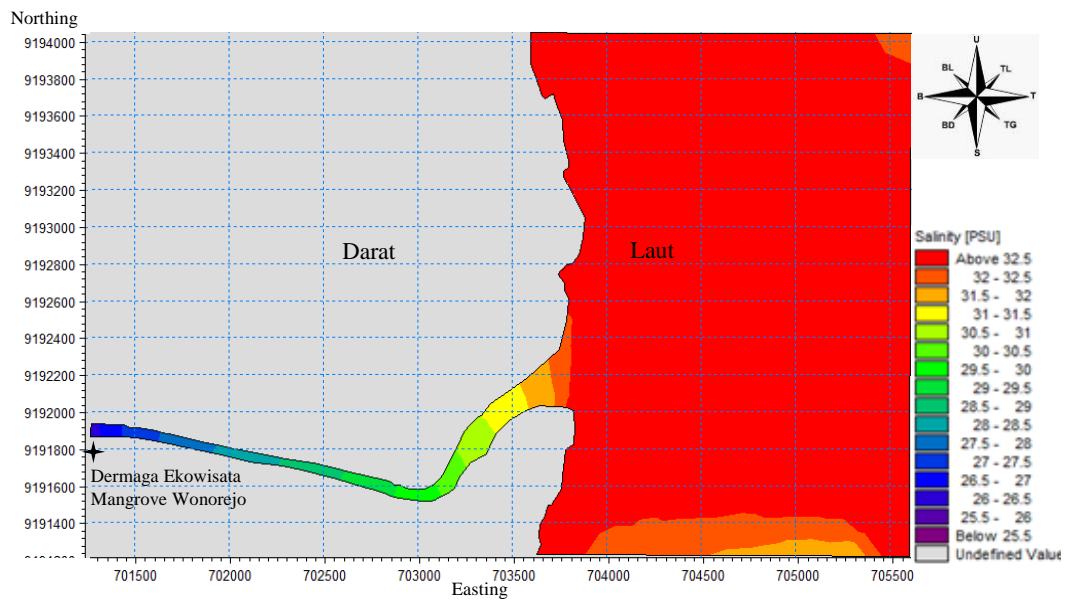
Gambar 4.21 Sebaran Salinitas pada Saat Pasang Tertinggi

Gambar 4.22 menunjukkan pola sebaran salinitas pada saat menuju surut. Pola sebaran salinitas pada kondisi menuju surut menunjukkan pergerakan salinitas ke arah laut. Hal ini terlihat dari area dengan salinitas antara 29,5 – 30 PSU bergerak ke arah muara. Di daerah muara, salinitas masih sekitar 32,5 PSU tetapi luas area dengan salinitas tersebut mulai berkurang dan bergerak ke arah laut.

Pola sebaran salinitas pada saat surut terendah ditampilkan pada Gambar 4.23. Gambar tersebut dengan jelas memperlihatkan nilai salinitas di bagian muara menurun, dimana nilai awal salinitas di atas 32,5 PSU menjadi sekitar 32 – 32,5 PSU. Daerah di badan sungai dengan salinitas antara 29,5 – 30 PSU juga menunjukkan pergerakan ke arah muara sungai.



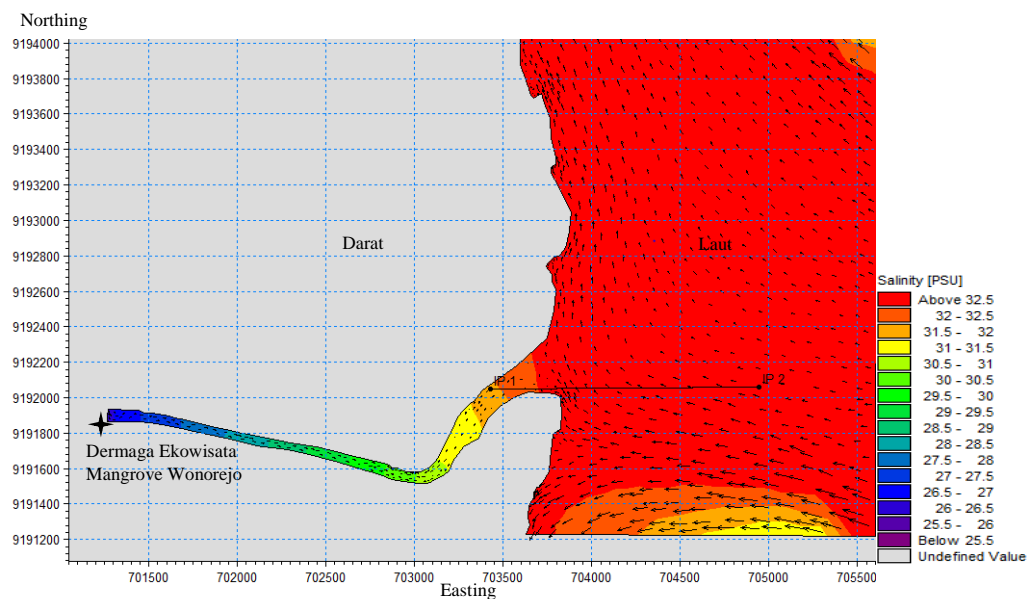
Gambar 4.22 Sebaran Salinitas pada Kondisi Menuju Surut



Gambar 4.23 Sebaran Salinitas pada Saat Surut Terendah

4.8.2.2 Sebaran Salinitas secara Vertikal

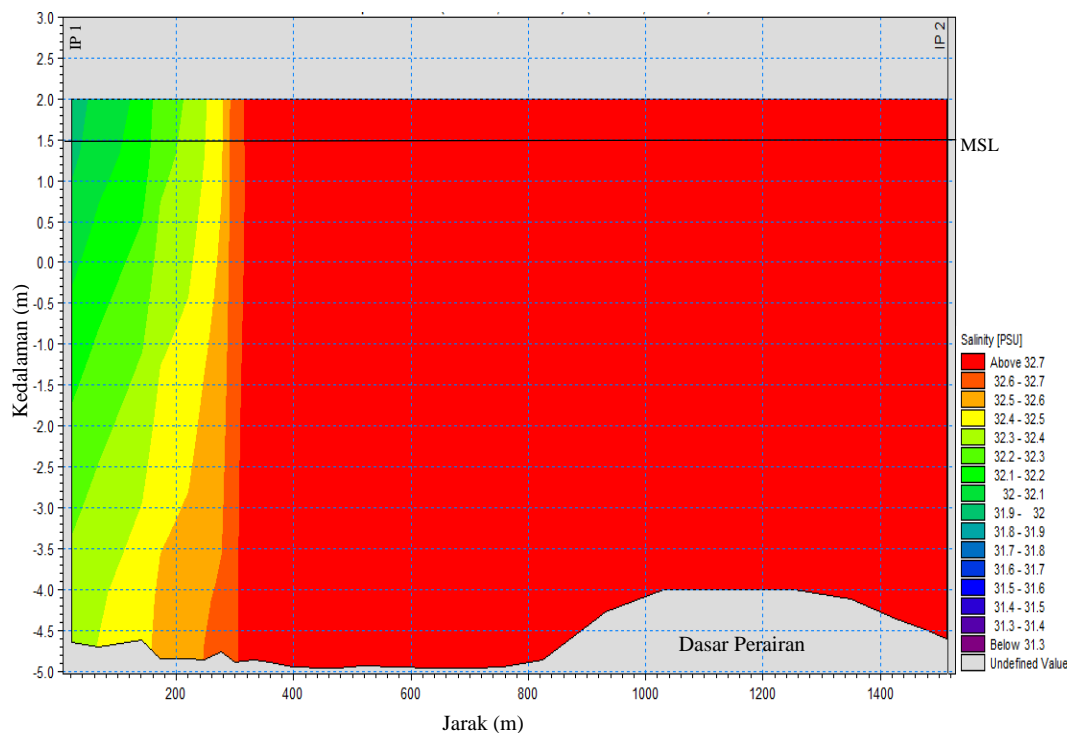
Untuk mengamati sebaran salinitas dalam penampang vertikal, diambil lokasi tinjau yang mewakili simulasi yaitu pada IP 1 sebagai titik awal dengan koordinat (703428,9192049) dan IP 2 sebagai titik akhir dengan koordinat (704943,9192060). Lokasi kedua titik tersebut seperti pada Gambar 4.24.



Gambar 4.24 Lokasi Titik Awal dan Titik Akhir untuk Analisa Sebaran Salinitas secara Vertikal

Gambaran sebaran salinitas terhadap kedalaman perairan di area muara ditunjukkan seperti pada Gambar 4.25 – 4.28. Gambar 4.25 menunjukkan sebaran salinitas dalam profil vertikal pada saat kondisi menuju pasang atau time step ke 151. Dari gambar tersebut terlihat bahwa sebaran salinitas dalam arah vertikal adalah sama. Tidak ada stratifikasi salinitas dalam profil vertikal, hanya secara horizontal saja. Hal ini berarti antara air asin dan air tawar terjadi proses pengadukan yang baik. Faktor kedalaman perairan dan kecilnya masukan air tawar dari debit sungai bisa menjadi alasannya. Salinitas bergerak dari laut ke arah muara seiring dengan arah pasang yang menuju sungai.

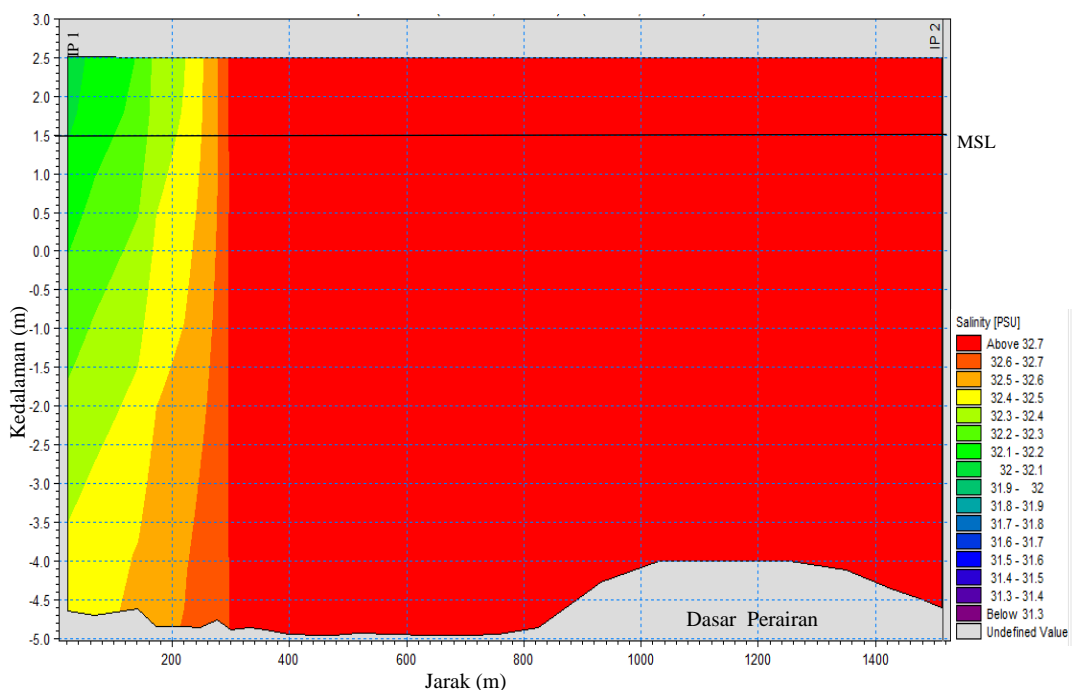
Salinitas di bagian permukaan cenderung bervariasi sampai jarak 300 m dari titik IP1 mulai dari 31,9 PSU sampai 32,7 PSU, sedangkan untuk bagian dasar variasi salinitas antara 32,3 PSU sampai 32,7 PSU. Salinitas di bagian dasar lebih tinggi dibagian permukaan. Hal ini menggambarkan bahwa air dengan salinitas lebih tinggi memiliki berat jenis lebih besar sehingga mengalir di bagian dasar perairan. Air dengan berat jenis lebih ringan akan mengalir di bagian permukaan perairan, yang berarti salinitasnya lebih kecil. Besar kecilnya salinitas ini dipengaruhi masukan air tawar dari sungai.



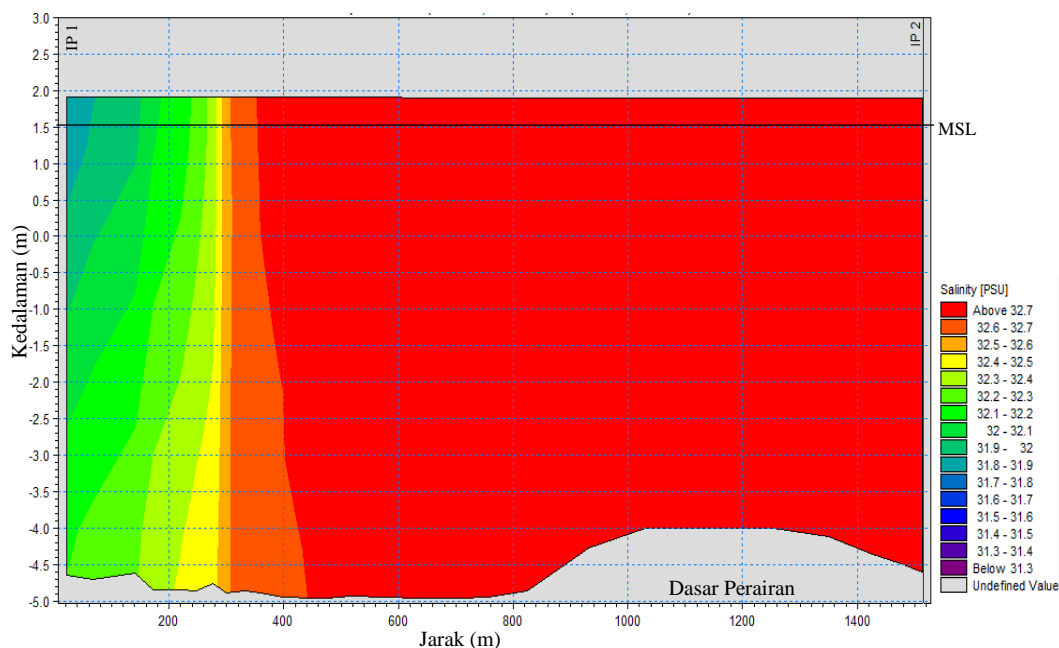
Gambar 4.25 Profil Salinitas secara Vertikal Saat Kondisi Menuju Pasang

Pada saat pasang tertinggi, pola stratifikasi salinitas dalam arah vertikal juga sama. Hal ini berarti pencampuran air tawar sungai dan air asin dari laut cukup baik. Hal ini ditunjukkan pada Gambar 4.26. Variasi salinitas terlihat ke arah horizontal dimana salinitas dibagian permukaan pada jarak 0 sampai 200 m, antara 32,1 PSU sampai 32,4 PSU sedangkan untuk bagian dasar perairan mulai dari 32,4 PSU sampai 32,6 PSU. Hal ini air menunjukkan bahwa air yang salinitasnya lebih tinggi akan mengalir di bagian bawah kolom air, dan air dengan salinitas lebih rendah akan mengalir di bagian atas/permukaan.

Pada jarak 200 sampai 400 m dari IP 1, variasi salinitas berkisar pada nilai 32,3 sampai diatas 32,7 PSU. Jarak 400 – 1400 m dari IP 1, salinitas sudah bernilai diatas 32,7 PSU. Di bagian permukaan perairan, pada saat menuju pasang salinitas di titik IP 1 (31,9 PSU) lebih kecil dibandingkan saat kondisi pasang tertinggi (32,1 PSU). Hal ini menggambarkan bahwa air asin terdorong lebih jauh ke arah badan sungai pada saat pasang karena dorongan gaya pasang dari arah laut lebih kuat daripada aliran debit sungai.

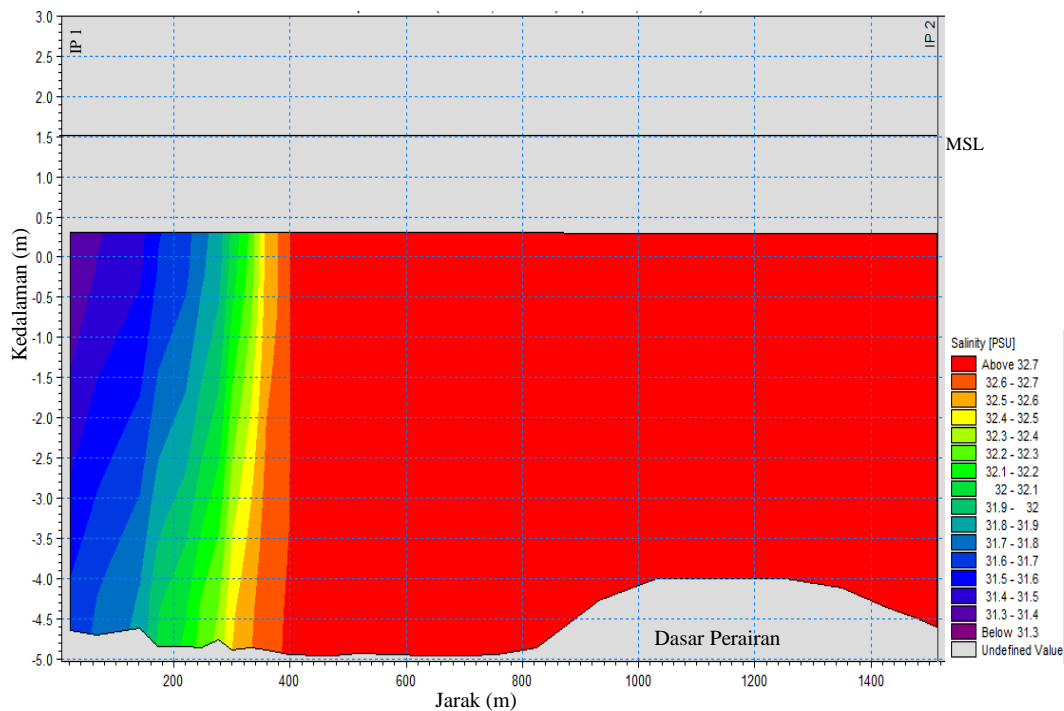


Gambar 4.26 Profil Salinitas secara Vertikal pada Saat Pasang Tertinggi



Gambar 4.27 Profil Salinitas secara Vertikal pada Kondisi Menuju Surut

Gambar 4.27 diatas menunjukkan sebaran salinitas saat menuju surut di daerah muara sungai pada time step ke 156. Tidak ada stratifikasi salinitas secara vertikal. Pencampuran air tawar dari sungai dan air asin dari laut terjadi dengan baik sehingga sebaran salinitas seragam berdasarkan kedalaman. Pada saat kondisi menuju surut, perubahan salinitas ada pada arah horizontal. Pada jarak 0 sampai 200 m dari titik IP 1, salinitas permukaan mulai dari 31,8 PSU sampai 32,2 PSU, sedangkan salinitas di dasar perairan antara 32,2 PSU sampai 32,4 PSU. Pada jarak 200 sampai 400 m dari titik IP 1, salinitas permukaan berada pada kisaran nilai 32,2 PSU sampai diatas 32,7 PSU. Sedangkan nilai salinitas di bagian dasar perairan mulai dari 32,4 PSU sampai 32,7 PSU. Salinitas permukaan pada jarak 600-1400 m bernilai diatas 32,7 PSU. Jika dibandingkan nilai salinitas permukaan pada kondisi pasang tertinggi (32,1-32,4 PSU) dan menuju surut (31,8-32,2 PSU) untuk area 0 - 200 m dari IP 1, maka salinitas saat kondisi menuju surut mulai berkurang, yang berarti air dengan salinitas lebih tinggi bergerak ke arah laut.



Gambar 4.28 Profil Salinitas secara Vertikal pada Saat Surut Terendah

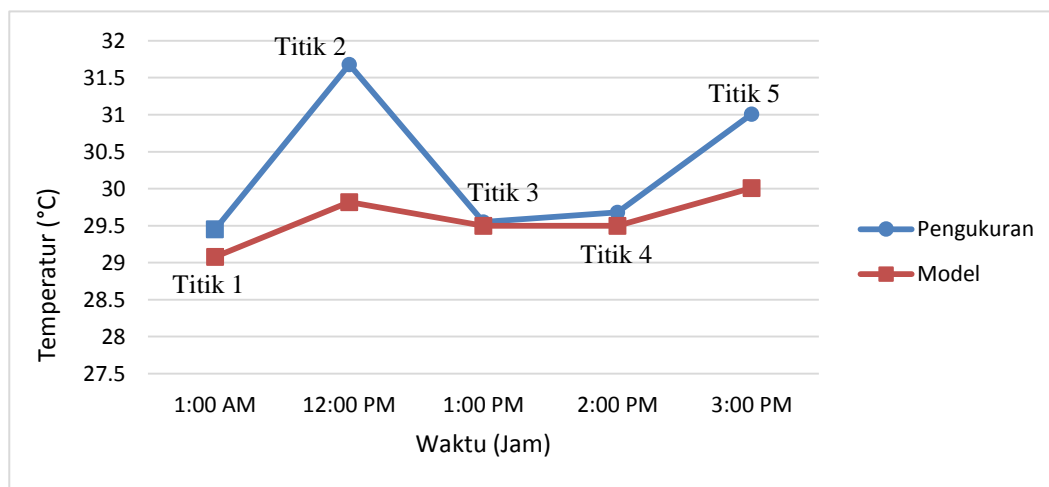
Untuk profil salinitas dalam penampang vertikal pada saat surut terendah seperti ditampilkan pada Gambar 4.28. Secara vertikal, sebaran salinitas homogen. Tidak ada stratifikasi salinitas secara vertikal. Hal ini berarti pencampuran air tawar dari sungai dan air asin dari laut cukup baik.

Kondisi salinitas perairan pada saat surut terendah dilihat dari penampang vertikal, menunjukkan bahwa terjadi pergeseran salinitas dalam arah horizontal. Jarak 0 sampai 200 m dari IP 1, salinitas di bagian permukaannya berada pada kisaran nilai 31,3 PSU sampai 31,6 PSU, sedangkan salinitas di bagian dasar perairan antara 31,6 PSU sampai 32,1 PSU. Untuk jarak 200 sampai 400 m IP 1, salinitas di bagian permukaan bernilai 31,6 PSU sampai 32,7 PSU, sedangkan bagian dasar perairannya nilai salinitas antara 32,1 PSU sampai diatas 32,7 PSU. Untuk jarak 400-1400 m, salinitas permukaan dan dasar mencapai diatas 32,7 PSU.

Jika dibandingkan salinitas permukaan pada jarak 0 sampai 200 m dari IP 1 antara kondisi menuju surut dan saat surut terendah, terlihat bahwa salinitas permukaan saat surut terendah pada area 0 – 200 m, lebih rendah daripada salinitas pada kondisi menuju surut. Hal ini menunjukkan bahwa salinitas yang lebih rendah yang berasal dari hulu sungai bergerak ke arah muara karena air laut surut.

4.8.3 Validasi Simulasi Sebaran Temperatur

Validasi sebaran temperatur dilakukan untuk melihat sejauh mana kesesuaian temperatur yang di dapat dari pengukuran langsung di lapangan dengan temperatur hasil pemodelan. Hasil validasi simulasi sebaran temperatur bisa di lihat pada Gambar 4.28. Diambil 5 titik pengukuran temperatur yang dijadikan acuan validasi. Temperatur pada pemodelan dipilih dari data yang waktunya disesuaikan dengan waktu pengukuran temperatur di lapangan. Besarnya nilai kesalahan dan RMSE pada masing-masing titik validasi disajikan dalam Tabel 4.5.



Gambar 4.28 Grafik Perbandingan Temperatur antara Hasil Pengukuran dan Pemodelan

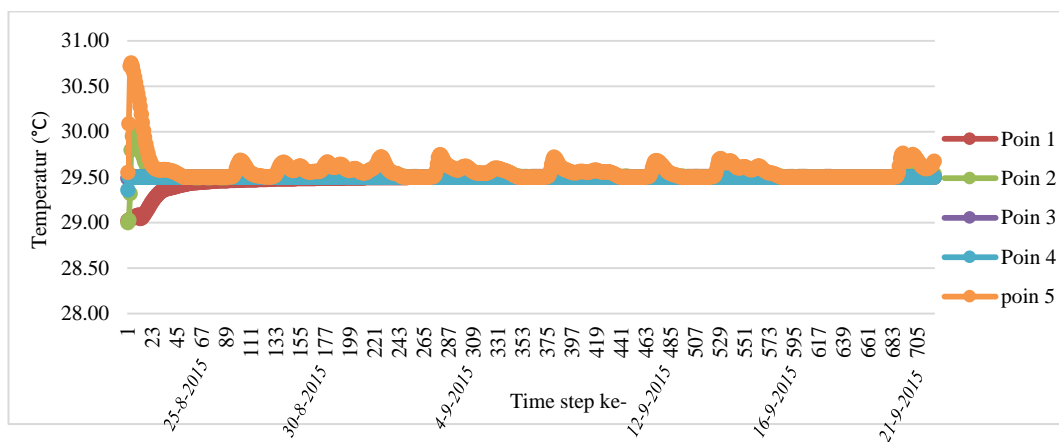
Secara umum, dari Gambar 4.28 diatas, terlihat bahwa grafik temperatur hasil pengukuran dan pemodelan menunjukkan pola yang hampir sama, dimana temperatur tertinggi berada di Titik 2. Selain itu, dari Tabel 4.6 terlihat bahwa nilai error pada 5 titik menunjukkan eror dibawah 30%, dimana hasil validasi ini dapat diterima.

Tabel 4.6 Nilai Kesalahan dan RMSE Temperatur pada 5 Titik Validasi

Lokasi	Nilai <i>Error</i>	RMSE
Titik 1	1,22 %	0,01
Titik 2	7,01 %	0,07
Titik 3	0,17 %	0,0019
Titik 4	0,61 %	0,01
Titik 5	4,87 %	0,04

4.8.4 Hasil Simulasi Sebaran Temperatur

Hasil simulasi temperatur pada 5 titik validasi diolah dalam bentuk grafik dan dapat dilihat pada Gambar 4.29. Grafik temperatur menunjukkan bahwa di beberapa poin seperti poin 1, poin 2, dan poin 5 di awal simulasi mengalami variasi yang berarti, tetapi seiring bertambahnya time step, temperatur menjadi lebih stabil. Untuk poin 3 dan 4, grafik temperatur menunjukkan kestabilan.



Gambar 4.29 Grafik Perbandingan Temperatur di 5 Titik Validasi

4.8.4.1 Sebaran Temperatur secara Horizontal

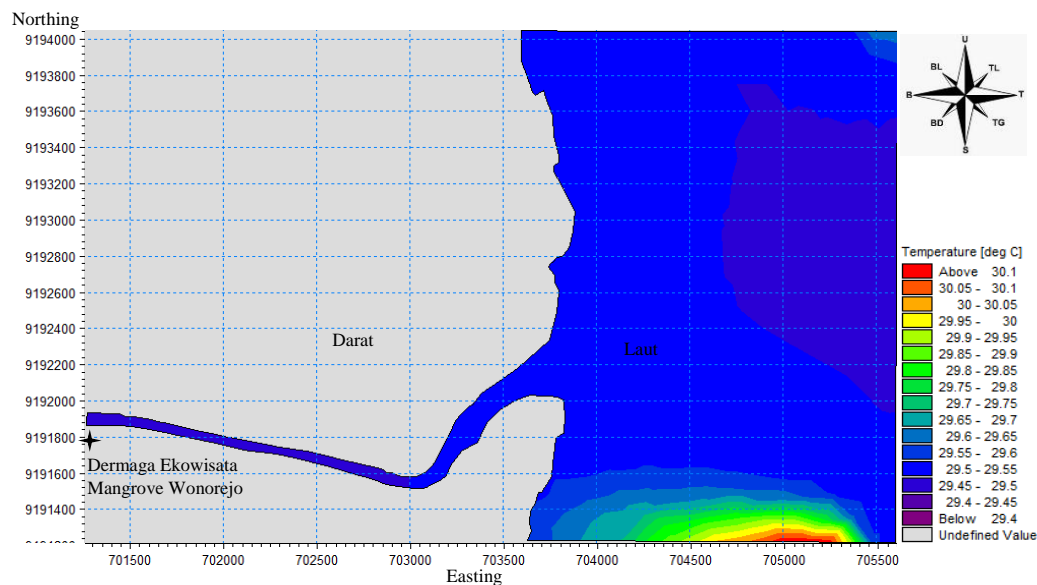
Gambar 4.30 – 4.37 menunjukkan sebaran temperatur permukaan dalam arah horizontal berturut-turut pada kondisi menuju pasang, saat pasang tertinggi, kondisi menuju surut dan saat surut terendah. Gambaran temperatur pada saat kondisi menuju pasang ditunjukkan seperti pada Gambar 4.30. Temperatur di bagian hulu sungai berkisar antara 29,45 °C sampai 29,5 °C, dibagian muara/mulut sungai temperatur berada dalam kisaran 29,5 °C sampai 29,55 °C, dan di bagian laut temperatur antara 29,45 °C sampai 29,5 °C. Temperatur di bagian selatan model sedikit lebih tinggi dibanding di area muara sungai, dengan nilai temperatur yang lebih bervariasi, mulai dari 29,65 °C sampai di atas 30,1 °C.

Pada kondisi saat pasang tertinggi, temperatur di bagian hulu sungai bernilai dibawah 29,5 °C, sedangkan di bagian muara sebesar 29,5 °C sampai 29,55 °C. temperatur di area laut sama seperti di bagian muara yaitu 29,5 °C sampai 29,55 °C.

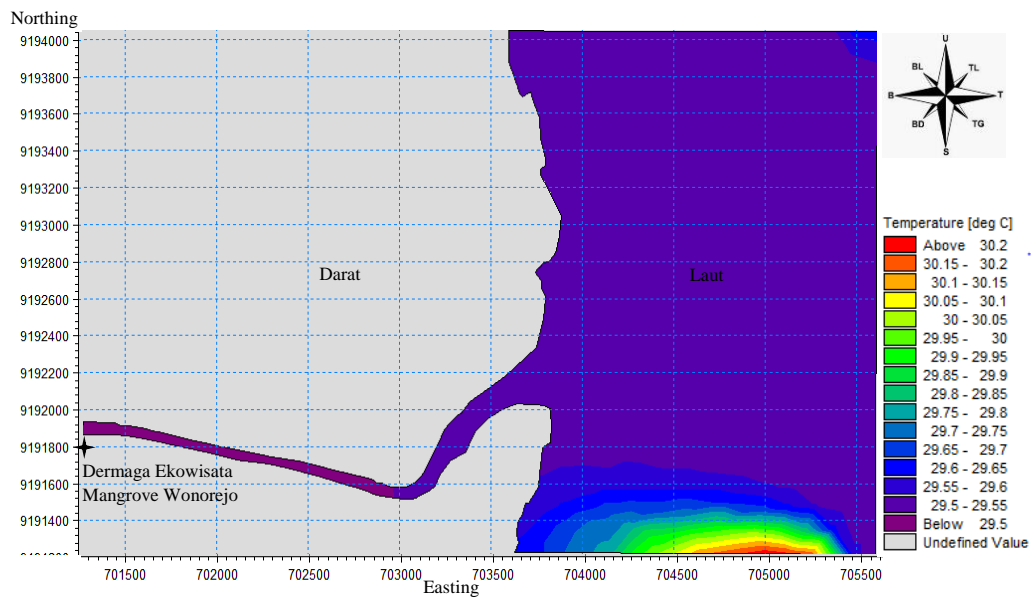
°C. Variasi temperatur terjadi juga di bagian selatan model dimana temperaturnya berkisar 29,7 °C sampai 30,2 °C. Untuk lebih jelasnya bisa dilihat pada Gambar 4.31.

Pola sebaran temperatur pada kondisi menuju surut ditunjukkan pada Gambar 4.32. Sebaran temperatur untuk daerah hulu sungai antara 29,45 °C sampai 29,5 °C, untuk bagian mulut sungai 29,6 °C sampai 29,65 °C, dan untuk daerah laut antara 29,45 °C sampai 29,5 °C.

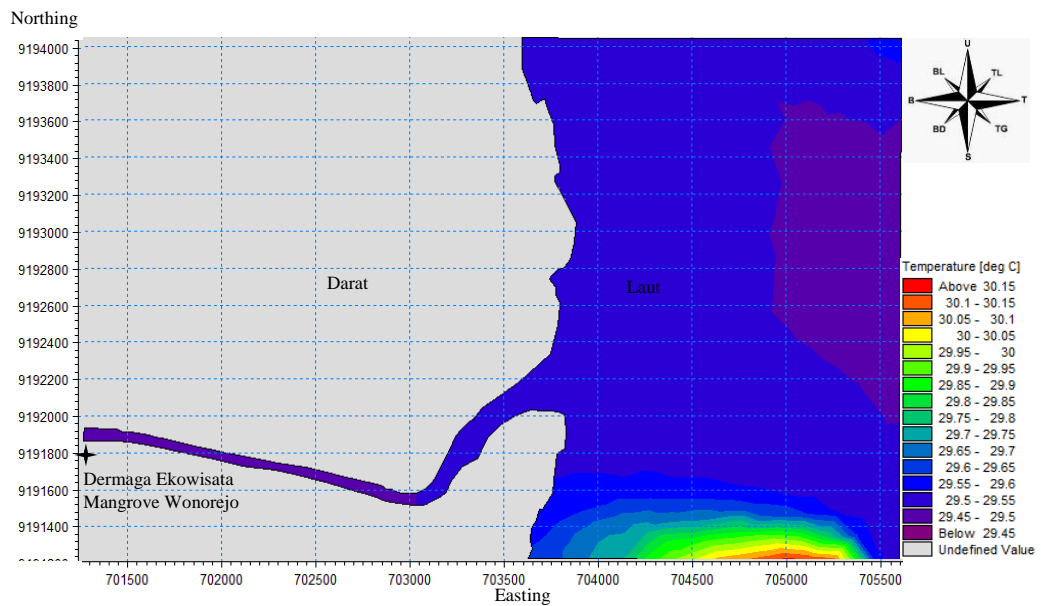
Pola sebaran temperatur saat kondisi surut terendah ditampilkan pada Gambar 4.33. Temperatur di bagian hulu sungai, sebagian besar muara dan area laut sama berkisar antara 29,44 °C sampai 29,48 °C, tetapi di bagian muara terdapat kolom air sempit yang temperaturnya antara 29,52 °C sampai 29,56 °C.



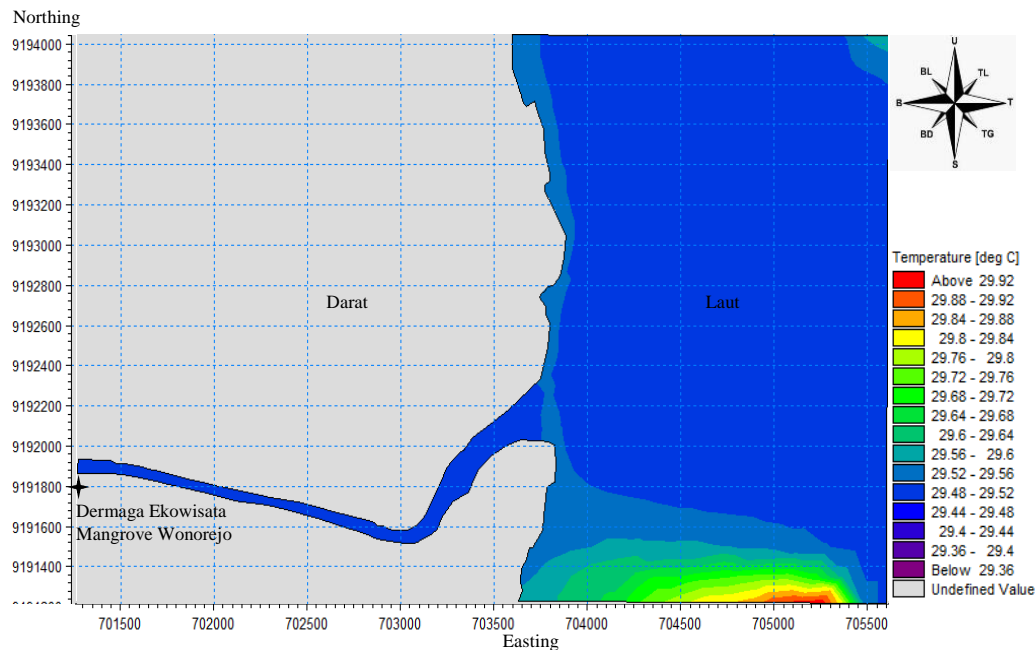
Gambar 4.30 Sebaran Temperatur secara Horizontal Saat Menuju Pasang



Gambar 4.31 Sebaran Temperatur secara Horizontal Saat Pasang Tertinggi



Gambar 4.32 Sebaran Temperatur secara Horizontal Saat Menuju Surut



Gambar 4.33 Sebaran Temperatur secara Horizontal Saat Surut Terendah

4.8.4.2 Sebaran Temperatur secara Vertikal

Untuk mengamati sebaran temperatur dalam penampang vertikal, diambil lokasi tinjau yang mewakili simulasi yaitu pada IP 1 sebagai titik awal dengan koordinat (703428,9192049) dan IP 2 sebagai titik akhir dengan koordinat (704943,9192060). Lokasi kedua titik tersebut seperti Gambar 4.24 pada pembahasan tentang salinitas. Pola sebaran temperatur dalam penampang vertikal ditampilkan pada Gambar 4.34 sampai Gambar 4.37.

Sebaran temperatur pada kondisi menuju pasang ditunjukkan oleh Gambar 4.34. Temperatur permukaan pada jarak 0 sampai 600 m dari IP 1 berkisar antara 29,518 °C sampai 29,51 °C. Sedangkan pada jarak 600 sampai 1200 m, temperatur permukaan antara 29,508 °C sampai 29,502 °C. Temperatur permukaan pada jarak 1200 m sampai mendekati IP 2 adalah 29,502 °C sampai dibawah 29,5 °C. Temperatur di bagian dasar perairan untuk jarak 0 sampai 600 m berkisar antara 29,521°C sampai 29,511 °C. Pada jarak 600 sampai 1200 m, temperatur di bagian dasar antara 29,51 °C sampai 29,502 °C. Pada jarak 1200 m sampai mendekati IP 2, temperatur dasar perairan adalah sekitar 29,502 °C sampai dibawah 29,5 °C.

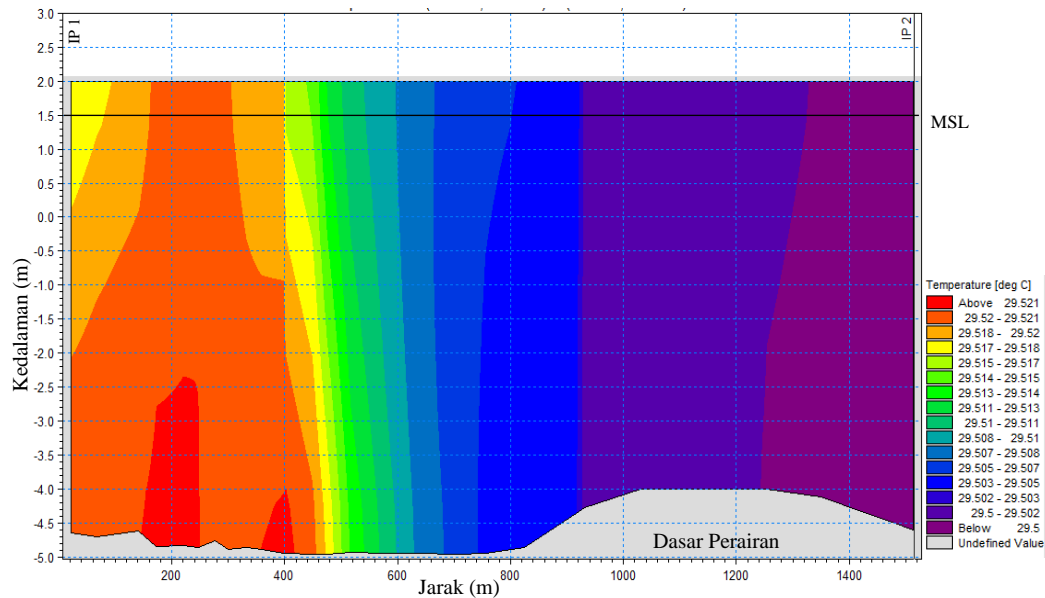
Gambar 4.35 menggambarkan sebaran temperatur pada saat pasang tertinggi. Temperatur permukaan pada jarak 0 sampai 600 m dari IP 1 berkisar antara 29,52 °C sampai 29,517 °C. Sedangkan pada jarak 600 sampai 1200 m, temperatur permukaan antara 29,517 °C sampai 29,503 °C. Temperatur permukaan pada jarak 1200 m sampai mendekati IP 2 adalah 29,5 – 29,503 °C. Temperatur di bagian dasar perairan untuk jarak 0 sampai 600 m berkisar antara 29,52°C sampai 29,522 °C. Pada jarak 600 sampai 1200 m, temperatur di bagian dasar antara 29,522 °C sampai 29,503 °C. Pada jarak 1200 m sampai mendekati IP 2, temperatur dasar perairan adalah sekitar 29,502 °C sampai dibawah 29,5 °C.

Sebaran temperatur pada kondisi surut ditunjukkan oleh Gambar 4.36. Temperatur permukaan pada jarak 0 sampai 600 m dari IP 1 berkisar antara 29,51 °C sampai 29,517 °C. Sedangkan pada jarak 600 sampai 1200 m, temperatur permukaan antara 29,517 °C sampai dibawah 29,503 °C. Temperatur permukaan pada jarak 1200 m sampai mendekati IP 2 adalah dibawah 29,503 °C. Temperatur di bagian dasar perairan untuk jarak 0 sampai 600 m berkisar antara 29,52°C sampai 29,522 °C. Pada jarak 600 sampai 1200 m, temperatur di bagian dasar antara 29,522 °C sampai dibawah 29,503 °C. Pada jarak 1200 m sampai mendekati IP 2, temperatur dasar perairan adalah dibawah 29,503 °C.

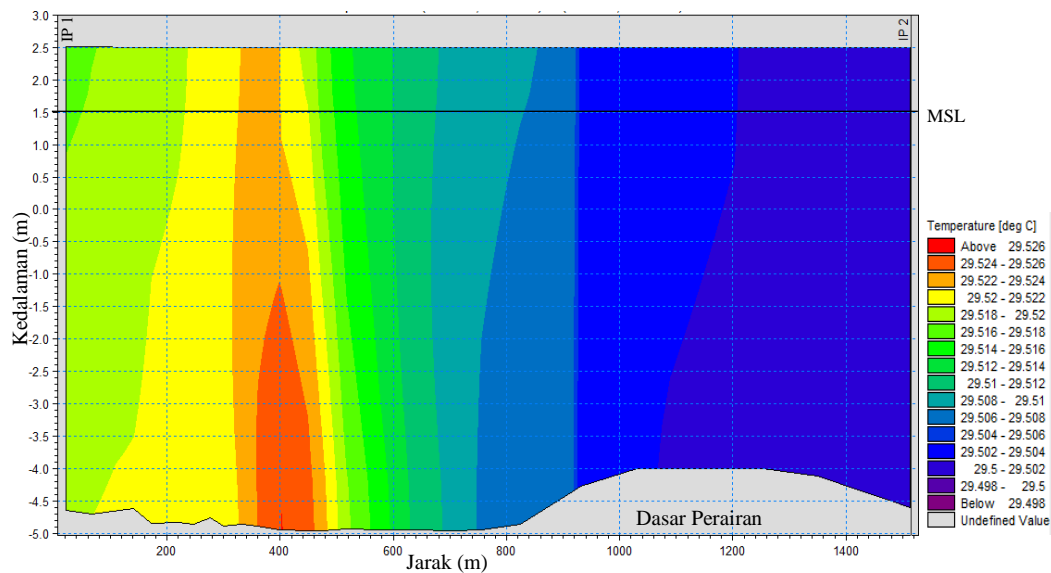
Gambar 4.37 menunjukkan sebaran temperatur pada kondisi surut terendah. Temperatur permukaan pada jarak 0 sampai 600 m dari IP 1 berkisar antara 29,51 °C sampai 29,512 °C. Sedangkan pada jarak 600 sampai 1200 m, temperatur permukaan antara 29,512 °C sampai 29,504°C. Temperatur permukaan pada jarak 1200 m sampai mendekati IP 2 adalah 29,502 – 29,504 °C. Temperatur di bagian dasar perairan untuk jarak 0 sampai 600 m berkisar antara 29,512°C sampai 29,514 °C. Pada jarak 600 sampai 1200 m, temperatur di bagian dasar antara 29,514 °C sampai 29,504 °C. Pada jarak 1200 m sampai mendekati IP 2, temperatur dasar perairan adalah sekitar 29,502 – 29,504 °C.

Dari hasil sebaran temperatur dalam profil vertikal terlihat bahwa pada 4 kondisi, yaitu saat menuju pasang, saat pasang tertinggi, saat menuju surut, saat surut terendah, nilai temperatur di permukaan dan di dasar perairan tidak berbeda

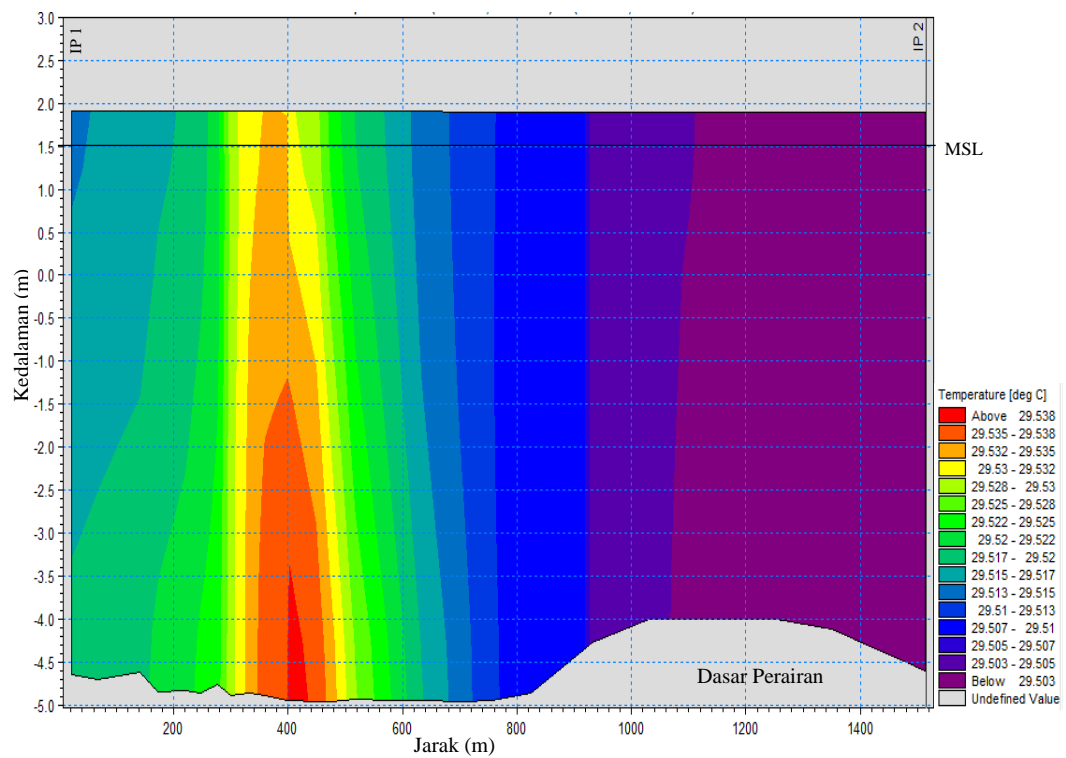
jauh, temperatur di bagian permukaan sedikit lebih tinggi dibanding temperatur di bagian dasar karena pengaruh penyinaran matahari. Sebaran vertikal temperatur didapatkan bahwa pada daerah perairan estuari ini tidak terdapat lapisan termoklin karena kedalaman perairan yang diteliti termasuk dangkal.



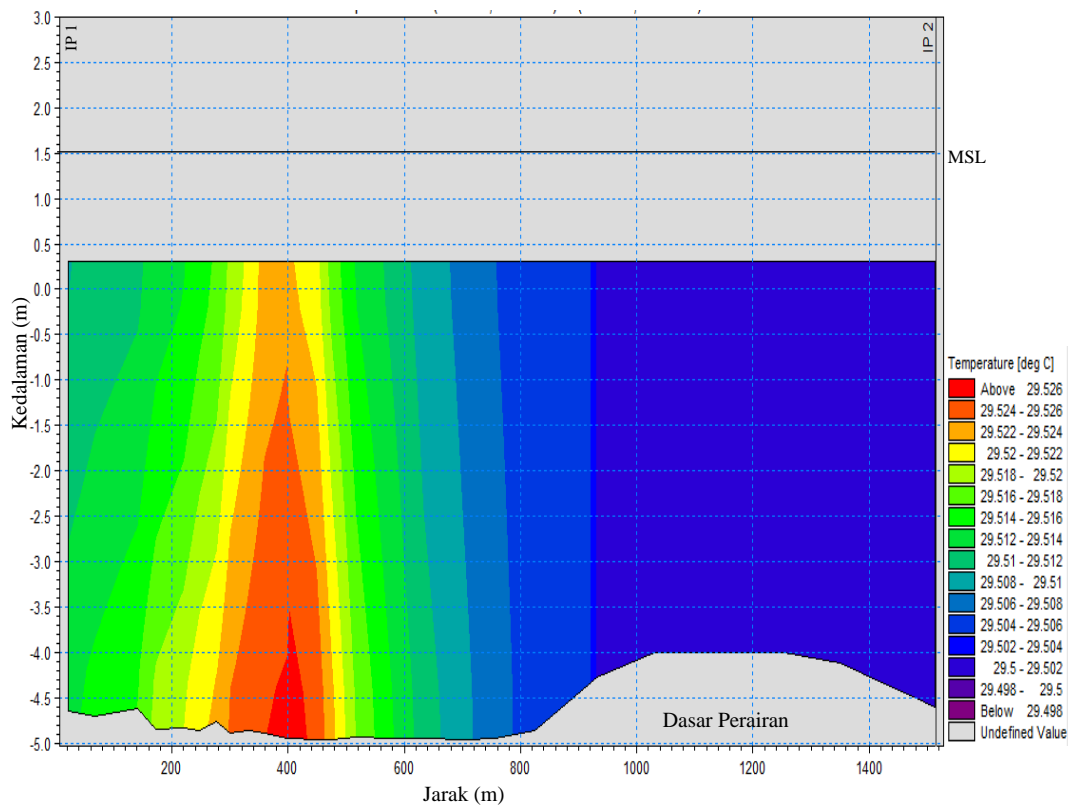
Gambar 4.34 Sebaran Temperatur secara Vertikal Saat Menuju Pasang



Gambar 4.35 Sebaran Temperatur secara Vertikal Saat Pasang Tertinggi



Gambar 4.36 Sebaran Temperatur secara Horizontal Saat Menuju Surut



Gambar 4.37 Sebaran Temperatur secara Horizontal Saat Surut Terendah

4.8.5 Penentuan Tipe Estuari Wonorejo dan Pendugaan Intrusi Air Laut di Muara Wonorejo

Salah satu klasifikasi tipe estuari yang dikemukakan oleh Valle-Levinson (2010) adalah berdasarkan struktur vertikal salinitas. Dalam penelitian ini, digunakan klasifikasi tersebut untuk menentukan tipe estuari Wonorejo. Berdasarkan sebaran salinitas seperti pada Gambar 4.25 - 4.28 sebelumnya, menunjukkan bahwa pada arah vertikal tidak ada stratifikasi salinitas yang mencolok. Umumnya salinitas seragam mulai dari permukaan hingga dasar perairan. Salinitas berkurang dari lautan ke arah sungai. Hal ini menunjukkan bahwa pencampuran air tawar dari sungai dengan air asin dari laut dari atas sampai bawah berlangsung cukup baik.

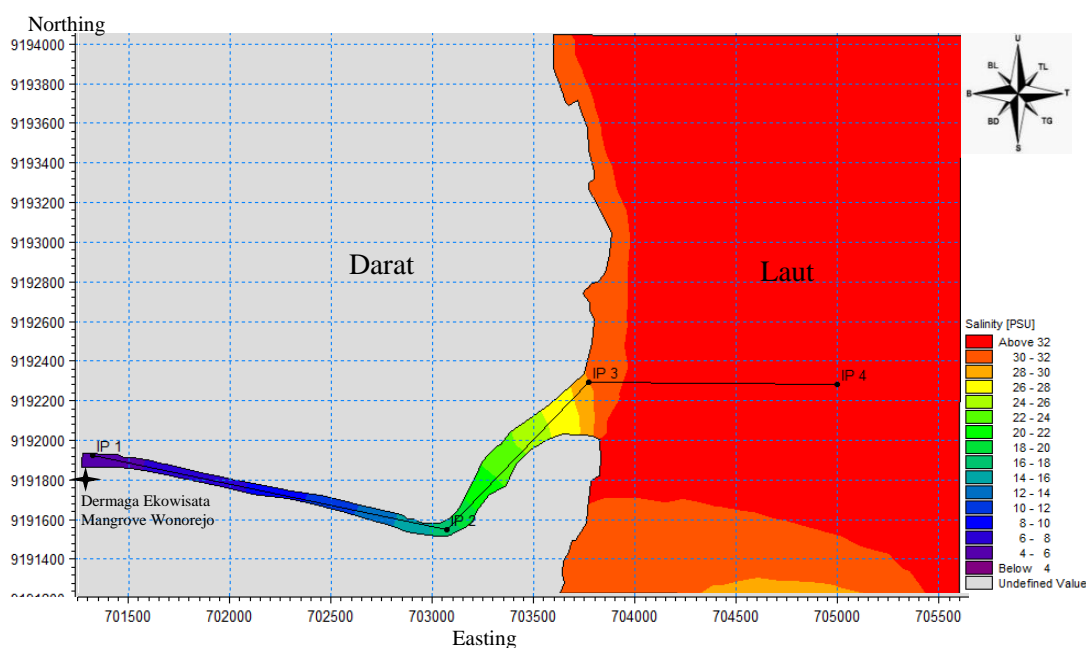
Kedalaman perairan yang dangkal (<10 m) sehingga masih dapat dipengaruhi oleh angin. Debit sungai yang kecil ($0,15 \text{ m}^3/\text{s}$) dan pengaruh pasang surut yang lebih dominan dibandingkan debit sungai menyebabkan terjadinya pengadukan vertikal sehingga distribusi salinitas di perairan menjadi homogen secara vertikal. Dengan demikian estuari Wonorejo bisa di kategorikan sebagai *well-mixed estuary*.

Di muara sungai terjadi pencampuran antara air asin dari laut dengan air tawar dari sungai. Letak titik pertemuan dan tingkat pencampuran air tawar dan air asin bervariasi bergantung pada kekuatan pasang surut dan debit sungai. Oleh karena itu dilakukan penyelidikan dengan melihat profil vertikal salinitas dari titik IP 1 sampai IP 4 untuk melihat area pertemuan air tawar dengan air asin.

Untuk lokasi titik IP 1 sampai IP 4 dapat dilihat pada Gambar 4.38 dan koordinat titik IP 1, IP 2, IP 3, dan IP 4 disajikan pada Tabel 4.7. Keadaan salinitas juga ditampilkan pada kondisi surut saat time step ke-15 atau pada tanggal 23 Agustus 2015 pukul 15.00 WIB dan kondisi pasang saat time step ke-19 pada tanggal 23 Agustus 2015 pukul 19.00 WIB, agar dapat dihitung sejauh mana intrusi air laut ke dalam Kali Londo. Gambar 4.39 menunjukkan perbandingan antara keadaan salinitas pada saat surut dan saat pasang.

Tabel 4.7 Koordinat Titik IP 1 sampai IP 4 untuk Melihat Pergerakan Salinitas

	X	Y
IP 1	701320.0742188	9191924.057812
IP 2	703069.3140625	9191549.220703
IP 3	703770.0964844	9192293.4625
IP 4	704997.8238281	9192282.597656

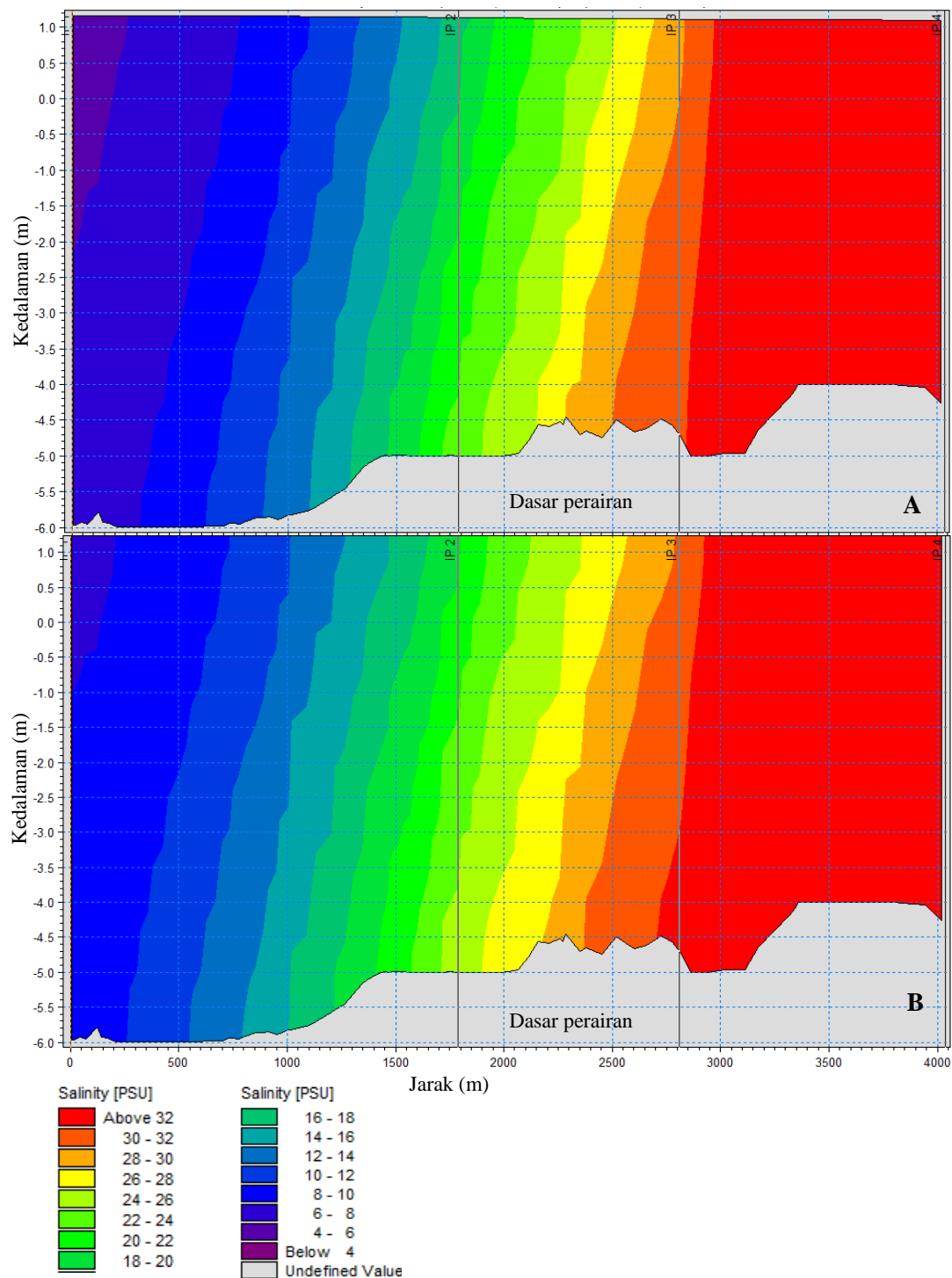


Gambar 4.38 Lokasi Titik IP 1 sampai IP 4 untuk Pergerakan Salinitas

Berdasarkan gambar di atas dapat diketahui bahwa titik IP 1 berada pada dermaga ekowisata Mangrove Wonorejo. Titik IP 2 berada pada jarak 1780 m dari titik IP 1. Titik IP 3 berada pada area muara sungai dan berjarak 2800 m dari titik IP 1 sedangkan titik IP 4 merupakan area laut yang berjarak 1200 m dari titik IP 3. Dari keempat titik tersebut kemudian dimodelkan secara vertikal untuk melihat keadaan salinitas pada bagian permukaan perairan dan bagian dasar perairan seperti terlihat pada Gambar 4.39.

Klasifikasi salinitas air telah dirangkum oleh Soeka dalam buku yang ditulis oleh Ongkosongo tahun 2010 dan ditampilkan dalam Gambar 2.2 pada bab sebelumnya. Klasifikasi salinitas air yang dibahas dalam bab ini akan mengacu pada klasifikasi yang dilakukan oleh Ongkosongo. Ongkosongo (2010) membagi

salinitas air menjadi 4, yaitu: *oligohaline* (nilai salinitas 0,5 - 3 ‰), *mesohaline* (nilai salinitas 3 – 16,5 ‰), dan *polyhaline* (nilai salinitas 16,5 - 30 ‰) dan *marine* (diatas 30 ‰).



Gambar 4.39 Perbandingan Keadaan Salinitas Titik IP 1 sampai IP 4 pada Saat Surut (A) dan Saat Pasang (B)

Berdasarkan Gambar 4.39 diatas, dapat diketahui bahwa nilai salinitas terkecil berada pada titik IP 1 di bagian permukaan air yaitu dengan nilai 4 – 6 PSU. Rentang salinitas ini bukan termasuk air tawar karena menurut Ongkosongo (2010) nilai salinitas air tawar adalah kurang dari 0,2 ‰, salinitas tersebut tergolong *mesohaline*. Hal ini menggambarkan masukan air tawar dari hulu sungai tidak mencapai titik IP 1, yang berjarak 2.800 m dari muara. Hal ini berarti pengaruh air laut mencapai area dermaga ekowisata mangrove Wonorejo. Pergeseran salinitas air diamati pada bagian permukaan dan dasar perairan. *Permukaan perairan* : ketika kondisi surut, air kategori *mesohaline* dengan salinitas 3 – 16,5 PSU menempati area dengan jarak 0-1.500 m dr titik IP 1. Air *polyhaline* dengan salinitas antara 16,5 - 30 PSU berada pada jarak 1500 – 2.825 m dari titik IP 1. Sedangkan air kategori *marine* dengan salinitas lebih dari 30 PSU berada pada jarak 2.825 – 4.000 m yang merupakan titik IP 4 dan termasuk area laut. Pada saat kondisi pasang, air kategori *mesohaline* dan *polyhaline* dengan salinitas 6-30 PSU berada pada jarak 0-2.800 m dari titik IP 1, air kategori *marine* dengan salinitas diatas 30 PSU berada pada jarak 2.800-4.000 m dari titik IP 1. Pada *dasar perairan* : pada saat kondisi surut, dasar perairan didominasi air *mesohaline* dan *polyhaline* dengan salinitas 6-30 PSU pada jarak 0 sampai 2.500 m dari titik IP 1. Sedangkan air *marine* dengan salinitas diatas 30 PSU berada pada jarak 2.500 – 4.000 m hingga ke area laut. Pada saat kondisi pasang, air *mesohaline* dan *polyhaline* dengan salinitas 8-30 PSU berada pada jarak 0-2.375 m dari titik IP 1 sedangkan air *marine* dengan salinitas diatas 30 PSU berada pada jarak 2.375 hingga 4.000 m menuju kearah laut.

Dari gambar perbandingan salinitas saat surut dan pasang (Gambar 4.39), terlihat adanya pergeseran salinitas air saat kondisi surut dan pasang. Air *mesohaline* bergerak dibagian permukaan perairan dan bergerak menuju mulut sungai pada saat surut dalam rentang jarak 1.500 m dari titik IP 1. Sedangkan air *polyhaline* berada pada area sungai sejauh 1.300 m dari muara sungai. Pada kondisi pasang, intrusi air laut semakin kuat ke arah sungai. Salinitas air 6-8 PSU berada di permukaan air daerah dermaga ekowisata Mangrove sedangkan dibagian dasar salinitas air mencapai 8-10 PSU. Di bagian permukaan air saat kondisi pasang air asin dari laut akan bergerak sejauh 50 m dari kedudukan awalnya saat surut

sedangkan di bagian dasar air asin berpindah sejauh 100 m saat pasang dari posisi awalnya saat surut menuju ke arah muara sungai.

Kenaikan salinitas akan diikuti oleh kenaikan nilai densitasnya. Air dengan salinitas yang lebih tinggi memiliki nilai densitas yang lebih besar, cenderung bergerak ke arah dasar perairan. Adanya masukan air tawar dari hulu membuat salinitas menjadi lebih rendah memiliki nilai densitas yang lebih kecil, akan bergerak di bagian permukaan perairan. Hal ini terlihat pada Gambar 4.39 dimana pada dermaga ekowisata Mangrove, salinitas awal di bagian permukaan air bernilai 4-6 PSU sedangkan pada bagian dasar salinitas awal sekitar 6-8 PSU (saat kondisi surut). Berdasarkan gambar perbandingan salinitas saat surut dan saat pasang pada bagian dasar perairan, salinitas air di area dermaga ekowisata mangrove Wonorejo termasuk kategori air *mesohaline*. Pada saat surut, air *mesohaline* dan *polyhaline* berada pada area sungai dari titik IP 1 sampai 2.850 m dari titik IP 1, setelah jarak itu air sudah termasuk kategori air marine dengan salinitas diatas 30 PSU. Pada saat pasang, air *mesohaline* dan *polyhaline* mendominasi titik IP 1 sampai 2.800 m dan setelah jarak tersebut air termasuk kategori air *marine*. Air asin (*marine*) dari laut dipermukaan terdorong masuk ke arah sungai sejauh 50 m.

Lampiran 1. Data Temperatur Salinitas di Daerah Penelitian

No	Koordinat Stasiun		Waktu (WIB)	Parameter	
	South	East		Suhu (°C)	Salinitas (PSU)
1	07°18.436'	112°49.397'	10.39	29,45	4,65
2	07°18.214'	112°50.749'	12.45	31,68	31,52
3	07°18.040'	112°51.692'	13.47	29,55	32,84
4	07°17.254'	112°51.373'	14.30	29,68	31,31
5	07°18.630'	112°51.131'	15.04	31,01	28,78

Lampiran 2. Data Pasang Surut Agustus-September 2015 dari DISHIDROS

40. SURABAYA		AGUSTUS 2015																								KETINGGIAN DALAM METER		
07° 11' 55" S - 112° 43' 15" T																										Waktu : G.M.T. + 07.00		
J	T	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	J	T	
1	1	1,9	1,7	1,5	1,3	1,2	1,3	1,5	1,9	2,2	2,5	2,7	2,6	2,3	1,9	1,3	0,8	0,4	0,2	0,3	0,6	1,0	1,4	1,7	1,9	1	1	
2	2	2,0	1,8	1,6	1,4	1,2	1,1	1,3	1,6	1,9	2,3	2,5	2,6	2,5	2,1	1,6	1,1	0,7	0,4	0,3	0,5	0,8	1,2	1,6	1,9	2	2	
3	3	2,0	2,0	1,8	1,5	1,3	1,1	1,1	1,3	1,6	2,0	2,3	2,4	2,4	2,2	1,9	1,4	1,0	0,6	0,4	0,5	0,7	1,1	1,5	1,8	3	3	
4	4	2,0	2,1	1,9	1,7	1,5	1,2	1,1	1,2	1,4	1,6	1,9	2,2	2,3	2,2	2,0	1,6	1,2	0,9	0,7	0,6	0,7	1,0	1,3	1,7	4	4	
5	5	1,9	2,1	2,1	1,9	1,7	1,4	1,3	1,2	1,2	1,4	1,6	1,8	2,0	2,0	1,9	1,7	1,5	1,2	0,9	0,8	0,8	1,0	1,2	1,5	5	5	
6	6	1,8	2,0	2,1	2,0	1,9	1,7	1,5	1,3	1,2	1,2	1,3	1,5	1,6	1,7	1,8	1,7	1,6	1,4	1,2	1,1	1,0	1,1	1,2	1,4	6	6	
7	7	1,6	1,9	2,0	2,1	2,0	1,9	1,7	1,5	1,4	1,2	1,2	1,2	1,3	1,4	1,5	1,5	1,5	1,4	1,3	1,2	1,2	1,3	1,4	7	7		
8	8	1,5	1,7	1,9	2,0	2,1	2,1	2,0	1,8	1,6	1,4	1,2	1,1	1,0	1,1	1,1	1,2	1,3	1,4	1,4	1,5	1,4	1,4	1,4	8	8		
9	9	1,5	1,6	1,7	1,9	2,0	2,1	2,1	2,1	1,9	1,7	1,4	1,1	0,9	0,8	0,8	0,9	1,0	1,2	1,4	1,5	1,6	1,6	1,6	1,5	9	9	
10	10	1,5	1,5	1,6	1,7	1,9	2,1	2,2	2,2	2,2	1,9	1,7	1,3	1,0	0,7	0,6	0,6	0,7	1,0	1,2	1,5	1,6	1,7	1,7	1,6	10	10	
11	11	1,6	1,5	1,5	1,6	1,8	2,0	2,2	2,3	2,3	2,2	1,9	1,6	1,2	0,8	0,5	0,4	0,5	0,7	1,0	1,3	1,6	1,8	1,8	1,8	11	11	
12	12	1,7	1,5	1,4	1,5	1,6	1,8	2,1	2,3	2,4	2,4	2,2	1,9	1,4	1,0	0,6	0,4	0,3	0,5	0,8	1,1	1,5	1,8	1,9	1,9	12	12	
13	13	1,8	1,6	1,4	1,4	1,4	1,6	1,9	2,2	2,4	2,5	2,4	2,1	1,7	1,2	0,8	0,4	0,3	0,3	0,6	1,0	1,3	1,7	1,9	1,9	13	13	
14	14	1,8	1,7	1,5	1,3	1,3	1,5	1,7	2,0	2,3	2,5	2,5	2,3	2,0	1,5	1,0	0,6	0,4	0,3	0,5	0,8	1,2	1,6	1,8	2,0	14	14	
15	15	1,9	1,7	1,5	1,3	1,3	1,3	1,5	1,8	2,1	2,4	2,5	2,4	2,1	1,7	1,3	0,8	0,5	0,4	0,5	0,7	1,1	1,5	1,8	1,9	15	15	
16	16	1,9	1,8	1,6	1,4	1,2	1,2	1,4	1,6	1,9	2,2	2,4	2,4	2,2	1,9	1,5	1,1	0,7	0,5	0,5	0,7	1,0	1,4	1,7	1,9	16	16	
17	17	2,0	1,9	1,7	1,4	1,3	1,2	1,2	1,4	1,7	2,0	2,2	2,3	2,2	2,0	1,6	1,3	0,9	0,7	0,6	0,8	1,0	1,3	1,6	1,9	17	17	
18	18	2,0	1,9	1,8	1,5	1,3	1,2	1,2	1,3	1,5	1,8	2,0	2,1	2,1	2,0	1,7	1,4	1,1	0,9	0,8	0,8	1,0	1,3	1,6	1,8	18	18	
19	19	2,0	2,0	1,8	1,6	1,4	1,2	1,2	1,2	1,3	1,5	1,7	1,9	2,0	1,9	1,7	1,5	1,2	1,0	0,9	0,9	1,1	1,3	1,6	1,8	19	19	
20	20	2,0	2,0	1,9	1,8	1,6	1,4	1,2	1,2	1,2	1,4	1,5	1,7	1,7	1,7	1,7	1,5	1,3	1,1	1,1	1,1	1,2	1,3	1,6	1,8	20	20	
21	21	2,0	2,0	2,0	1,9	1,7	1,5	1,4	1,3	1,2	1,3	1,3	1,4	1,5	1,5	1,4	1,3	1,2	1,2	1,2	1,2	1,2	1,4	1,6	1,7	21	21	
22	22	1,9	2,0	2,0	2,0	1,9	1,7	1,6	1,4	1,3	1,2	1,2	1,2	1,3	1,3	1,3	1,3	1,3	1,3	1,3	1,3	1,3	1,4	1,5	1,7	22	22	
23	23	1,8	1,9	2,0	2,0	2,0	1,9	1,8	1,6	1,5	1,3	1,2	1,1	1,1	1,1	1,1	1,1	1,2	1,2	1,3	1,4	1,4	1,5	1,5	1,6	23	23	
24	24	1,7	1,8	1,9	2,0	2,0	2,1	2,0	1,9	1,7	1,5	1,3	1,1	1,0	0,9	0,9	0,9	1,0	1,2	1,3	1,4	1,5	1,6	1,6	1,6	24	24	
25	25	1,6	1,7	1,8	1,9	2,0	2,1	2,2	2,1	2,0	1,8	1,5	1,2	1,0	0,8	0,7	0,7	0,8	1,0	1,3	1,5	1,6	1,7	1,7	1,6	25	25	
26	26	1,6	1,5	1,6	1,7	1,8	2,0	2,2	2,3	2,2	2,1	1,8	1,4	1,1	0,8	0,6	0,5	0,6	0,9	1,2	1,4	1,7	1,8	1,8	1,7	26	26	
27	27	1,6	1,4	1,4	1,5	1,6	1,9	2,1	2,3	2,4	2,3	2,1	1,7	1,3	0,9	0,6	0,4	0,5	0,7	1,0	1,4	1,7	1,9	1,9	1,8	27	27	
28	28	1,6	1,4	1,3	1,2	1,4	1,6	1,9	2,2	2,5	2,5	2,4	2,0	1,6	1,1	0,7	0,4	0,3	0,5	0,8	1,2	1,6	1,9	2,0	2,0	28	28	
29	29	1,8	1,5	1,2	1,1	1,1	1,3	1,6	2,0	2,3	2,5	2,5	2,3	1,9	1,4	0,9	0,5	0,3	0,4	0,7	1,1	1,5	1,9	2,1	2,1	29	29	
30	30	1,9	1,6	1,3	1,1	1,0	1,1	1,3	1,7	2,1	2,4	2,5	2,5	2,1	1,7	1,2	0,7	0,4	0,4	0,6	0,9	1,4	1,8	2,1	2,2	30	30	
31	31	2,1	1,8	1,5	1,1	0,9	0,9	1,0	1,4	1,8	2,1	2,4	2,5	2,3	1,9	1,5	1,0	0,7	0,4	0,5	0,5	0,8	1,2	1,7	2,0	2,2	31	31

40. SURABAYA		SEPTEMBER 2015																								KETINGGIAN DALAM METER	
07° 11' 55" S - 112° 43' 15" T																										Waktu : G.M.T. + 07.00	
T	J	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	J	T
1	1	2.2	2.0	1.7	1.3	1.0	0.9	0.9	1.1	1.4	1.8	2.1	2.3	2.3	2.1	1.7	1.3	0.9	0.7	0.6	0.8	1.1	1.5	1.9	2.2	1	1
2	2	2.3	2.2	1.9	1.6	1.2	1.0	0.8	0.9	1.1	1.5	1.8	2.0	2.1	2.1	1.8	1.5	1.2	0.9	0.8	0.9	1.1	1.4	1.8	2.1	2	2
3	3	2.2	2.2	2.1	1.8	1.5	1.2	1.0	0.9	1.0	1.2	1.4	1.7	1.8	1.9	1.8	1.6	1.4	1.2	1.0	1.0	1.1	1.3	1.6	1.9	3	3
4	4	2.1	2.2	2.2	2.0	1.7	1.4	1.2	1.0	1.0	1.0	1.2	1.3	1.5	1.6	1.6	1.6	1.5	1.4	1.3	1.2	1.3	1.4	1.6	1.8	4	4
5	5	2.0	2.1	2.1	2.1	1.9	1.7	1.5	1.3	1.1	1.0	1.0	1.1	1.2	1.3	1.4	1.4	1.5	1.5	1.4	1.4	1.4	1.5	1.6	1.7	5	5
6	6	1.8	1.9	2.0	2.0	2.0	1.9	1.7	1.5	1.3	1.2	1.0	1.0	0.9	1.0	1.1	1.2	1.3	1.4	1.5	1.6	1.6	1.6	1.6	1.7	6	6
7	7	1.7	1.8	1.9	1.9	2.0	2.0	2.0	1.8	1.6	1.4	1.2	1.0	0.8	0.8	0.8	0.9	1.1	1.3	1.5	1.6	1.7	1.8	1.7	1.7	7	7
8	8	1.7	1.6	1.7	1.8	1.9	2.0	2.1	2.0	1.9	1.7	1.4	1.1	0.9	0.7	0.6	0.7	0.9	1.1	1.4	1.6	1.8	1.9	1.9	1.8	8	8
9	9	1.7	1.6	1.5	1.6	1.7	1.9	2.1	2.2	2.1	2.0	1.7	1.4	1.0	0.7	0.5	0.5	0.6	0.9	1.2	1.6	1.8	2.0	2.0	1.9	9	9
10	10	1.7	1.5	1.4	1.4	1.5	1.7	2.0	2.2	2.2	2.2	2.0	1.6	1.2	0.9	0.6	0.5	0.5	0.7	1.1	1.4	1.8	2.0	2.0	1.9	10	10
11	11	1.8	1.5	1.4	1.3	1.3	1.5	1.8	2.1	2.3	2.3	2.2	1.9	1.5	1.1	0.7	0.5	0.5	0.6	0.9	1.3	1.7	2.0	2.1	2.0	11	11
12	12	1.8	1.6	1.3	1.2	1.2	1.3	1.6	1.9	2.2	2.3	2.3	2.1	1.7	1.3	0.9	0.6	0.5	0.6	0.9	1.2	1.6	1.9	2.1	2.1	12	12
13	13	1.9	1.6	1.4	1.1	1.1	1.1	1.4	1.7	2.0	2.2	2.3	2.2	1.9	1.5	1.1	0.8	0.6	0.6	0.8	1.2	1.5	1.9	2.1	2.1	13	13
14	14	2.0	1.7	1.4	1.1	1.0	1.0	1.2	1.4	1.8	2.1	2.2	2.2	2.0	1.7	1.3	1.0	0.8	0.7	0.9	1.1	1.5	1.8	2.1	2.2	14	14
15	15	2.1	1.8	1.5	1.2	1.0	0.9	1.0	1.2	1.5	1.8	2.0	2.1	2.0	1.8	1.5	1.2	0.9	0.8	0.9	1.2	1.5	1.8	2.1	2.2	15	15
16	16	2.1	1.9	1.6	1.3	1.0	0.9	0.9	1.0	1.3	1.6	1.8	2.0	2.0	1.8	1.6	1.3	1.1	1.0	1.0	1.2	1.5	1.8	2.1	2.2	16	16
17	17	2.2	2.1	1.8	1.5	1.2	0.9	0.9	0.9	1.1	1.4	1.6	1.8	1.8	1.6	1.4	1.2	1.1	1.1	1.2	1.2	1.5	1.8	2.0	2.2	17	17
18	18	2.3	2.2	1.9	1.6	1.3	1.1	0.9	0.9	1.0	1.2	1.4	1.5	1.6	1.6	1.5	1.4	1.3	1.2	1.2	1.3	1.5	1.7	2.0	2.2	18	18
19	19	2.2	2.2	2.1	1.8	1.5	1.3	1.1	1.0	1.0	1.0	1.2	1.3	1.4	1.5	1.5	1.4	1.3	1.3	1.3	1.3	1.5	1.7	1.9	2.1	19	19
20	20	2.2	2.2	2.1	2.0	1.8	1.5	1.3	1.1	1.0	1.0	1.0	1.1	1.2	1.3	1.3	1.3	1.3	1.3	1.4	1.4	1.5	1.6	1.8	1.9	20	20
21	21	2.0	2.1	2.1	2.0	1.9	1.8	1.6	1.4	1.2	1.1	1.0	1.0	1.0	1.0	1.1	1.2	1.3	1.4	1.4	1.5	1.6	1.7	1.7	1.8	21	21
22	22	1.9	1.9	2.0	2.0	2.0	1.9	1.8	1.7	1.5	1.3	1.1	0.9	0.9	0.8	0.9	1.0	1.2	1.4	1.5	1.6	1.7	1.7	1.7	1.7	22	22
23	23	1.7	1.7	1.8	1.9	2.0	2.0	2.0	1.9	1.8	1.5	1.3	1.0	0.8	0.7	0.7	0.8	1.0	1.3	1.5	1.7	1.8	1.8	1.8	1.7	23	23
24	24	1.6	1.5	1.5	1.6	1.8	1.9	2.1	2.1	2.0	1.8	1.6	1.2	0.9	0.7	0.6	0.7	0.9	1.2	1.5	1.8	1.9	2.0	1.9	1.7	24	24
25	25	1.5	1.4	1.3	1.3	1.5	1.8	2.0	2.2	2.2	2.1	1.9	1.5	1.1	0.8	0.6	0.5	0.7	1.0	1.4	1.7	2.0	2.1	2.1	1.9	25	25
26	26	1.6	1.3	1.1	1.1	1.2	1.5	1.8	2.1	2.3	2.3	2.1	1.8	1.4	1.0	0.6	0.5	0.6	0.8	1.2	1.7	2.0	2.2	2.2	2.0	26	26
27	27	1.7	1.4	1.1	0.9	0.9	1.1	1.5	1.9	2.2	2.3	2.3	2.1	1.7	1.2	0.8	0.6	0.5	0.7	1.1	1.5	2.0	2.3	2.4	2.2	27	27
28	28	1.9	1.5	1.1	0.8	0.7	0.8	1.1	1.5	1.9	2.2	2.3	2.2	1.9	1.5	1.1	0.7	0.6	0.7	1.0	1.4	1.8	2.2	2.4	2.4	28	28
29	29	2.1	1.8	1.3	0.9	0.7	0.6	0.8	1.2	1.6	2.0	2.2	2.2	2.1	1.7	1.4	1.0	0.8	0.7	0.9	1.3	1.7	2.1	2.4	2.5	29	29
30	30	2.3	2.0	1.5	1.1	0.8	0.6	0.6	0.9	1.2	1.6	1.9	2.1	2.1	1.9	1.6	1.2	1.0	0.9	0.9	1.2	1.6	2.0	2.3	2.5	30	30



BADAN METEOROLOGI KLIMATOLOGI DAN GEOFISIKA
STASIUN METEOROLOGI MARITIM PERAK SURABAYA

Jalan Kalimas Baru 97 B
 Surabaya - 60165

TGM : KASMAR SURABAYA
 Email : meteomaritimsby@yahoo.co.id

Telp/Fax : (031) 3291439
 Telp/Fax : (031) 3287123

dari BMKG
 Lampiran 3. Data Angin Wilayah Surabaya Timur (Wonorejo) Tahun 2015

DATA ANGIN WILAYAH SURABAYA TIMUR (WONOREJO) TAHUN 2015

TGL	Januari		Februari		Maret		April		Mei		Juni		Juli		Agustus		September		Oktober		November		Desember	
	Arah	Kec.	Arah	Kec.	Arah	Kec.	Arah	Kec.	Arah	Kec.	Arah	Kec.	Arah	Kec.	Arah	Kec.	Arah	Kec.	Arah	Kec.	Arah	Kec.	Arah	Kec.
1	253	4.5	266	1.7	221	2.8	95	2.0	18	1.1	128	3.0	164	3.6	153	4.6	143	5.3	116	3.8	149	2.2	340	1.3
2	279	6.0	254	2.9	255	3.6	215	1.3	144	0.9	158	2.5	154	4.8	154	4.6	142	4.9	116	4.0	82	1.2	332	1.1
3	261	5.4	236	2.9	302	3.0	214	1.4	258	0.9	134	3.1	156	4.9	165	4.0	141	5.1	112	5.0	23	1.2	28	0.9
4	255	4.0	271	2.6	275	3.0	116	2.1	213	2.8	111	3.2	155	4.3	129	4.0	117	4.4	111	3.9	91	3.1	121	1.3
5	213	1.8	245	3.0	247	4.7	121	2.4	96	2.4	143	3.7	167	3.4	129	3.8	169	3.0	135	4.0	113	3.0	176	0.8
6	223	2.6	243	2.7	246	2.4	52	1.9	136	3.7	149	4.0	149	4.0	91	3.3	143	3.8	155	2.5	135	3.5	67	1.7
7	282	3.1	325	2.0	340	3.6	30	1.0	121	3.5	151	2.9	137	4.5	106	3.1	123	4.4	114	3.3	150	2.7	45	1.5
8	282	5.1	46	1.8	320	3.4	350	1.1	146	3.6	155	2.0	152	4.3	128	4.6	164	3.8	108	4.3	180	0.6	41	1.9
9	285	5.3	344	2.1	330	3.9	24	1.3	130	2.9	155	3.0	176	3.9	124	4.2	101	3.7	110	4.0	112	1.0	151	2.0
10	274	5.7	261	3.0	319	3.3	213	1.0	130	2.8	166	2.2	124	3.2	135	4.7	130	4.0	98	4.1	136	0.9	347	1.2
11	274	6.3	245	1.9	301	3.2	322	1.2	134	3.0	162	3.7	100	3.5	128	4.3	135	3.3	105	3.0	157	2.0	223	1.3
12	297	4.6	308	2.2	293	4.0	322	2.0	129	3.3	153	3.8	98	4.9	146	3.8	137	3.3	128	3.0	159	2.6	265	1.9
13	218	4.2	309	4.3	251	2.1	328	1.0	134	2.6	159	4.0	120	5.7	110	4.3	137	5.2	129	2.9	79	1.5	197	1.5
14	241	3.6	244	2.8	214	3.4	43	2.2	101	3.7	163	3.5	115	4.4	111	4.4	158	5.0	135	3.7	5	1.0	210	3.6
15	239	2.0	301	1.8	283	2.8	59	2.3	110	3.8	140	3.8	89	4.1	115	5.7	129	4.9	104	4.2	175	2.4	208	1.5
16	263	2.3	338	1.1	276	2.3	27	2.8	150	3.4	166	3.1	89	3.5	99	3.8	109	4.7	143	2.4	181	1.5	324	3.0
17	302	3.3	273	1.6	339	0.9	41	2.7	146	3.0	151	3.2	116	4.0	122	2.8	99	4.8	114	3.9	177	1.5	263	4.4
18	249	3.1	179	1.9	41	1.0	116	1.3	148	2.8	161	3.1	137	3.0	118	3.5	104	3.2	134	4.8	202	1.5	251	4.6
19	252	3.6	312	3.2	93	1.6	306	1.2	141	2.4	140	3.8	111	3.4	132	3.0	143	3.9	113	4.2	146	4.0	270	4.4
20	261	3.5	245	3.9	168	1.8	303	1.2	119	2.2	118	3.8	87	3.7	170	3.1	132	4.2	114	4.1	162	4.2	286	4.5
21	209	1.7	335	2.4	183	1.7	347	2.5	115	3.3	163	4.0	124	3.1	133	3.5	158	3.0	106	4.6	121	3.2	302	4.7
22	325	3.2	338	3.5	8	1.9	345	2.4	143	3.2	166	4.2	128	3.6	133	4.4	163	3.5	111	4.0	122	3.7	299	3.6
23	313	2.5	300	3.7	24	1.2	272	3.3	136	3.0	170	4.4	125	3.4	147	4.3	155	2.8	112	3.6	70	2.1	315	3.4
24	239	2.5	299	2.6	12	1.2	272	3.1	124	3.0	159	3.6	131	3.4	146	3.7	128	3.1	109	3.5	10	1.3	312	3.7
25	305	2.6	288	0.9	35	2.2	297	2.5	98	3.2	144	3.2	137	3.8	162	3.7	146	4.2	118	2.3	340	1.0	287	1.8
26	330	3.4	263	1.5	35	1.5	168	2.3	106	3.1	120	4.4	117	4.2	138	3.6	143	4.9	108	3.5	9	1.1	255	1.7
27	263	3.1	236	1.5	34	0.8	8	1.4	126	2.7	135	3.9	157	3.8	154	3.7	143	4.8	98	3.1	96	0.8	260	1.7
28	248	3.1	340	1.5	14	1.1	70	2.0	131	3.4	147	3.8	167	3.8	150	4.4	117	4.6	103	3.3	133	1.6	227	1.8
29	282	2.0			46	1.4	334	1.7	176	2.9	157	4.7	119	4.0	149	5.0	108	4.9	112	3.6	73	1.5	236	2.5
30	286	4.4			69	0.7	21	1.5	164	3.8	160	4.6	124	3.8	152	5.7	126	4.6	132	4.1	273	1.1	354	1.4
31	279	4.0			48	1.3			126	2.4			156	4.4	156	5.2			155	3.0				

Catatan : Kecepatan Angin Dalam Knot, Arah Angin Dalam Derajat

Surabaya , 26 Januari 2016
 Kasi Observasi & Informasi

Intan Paramajanti
 NIP.196106171982032002

Lampiran 4. Dokumentasi Penelitian

a. Foto Muara Sungai Wonorejo



b. Foto Alat ADCP dan Perlengkapan untuk Penempatannya di Perairan



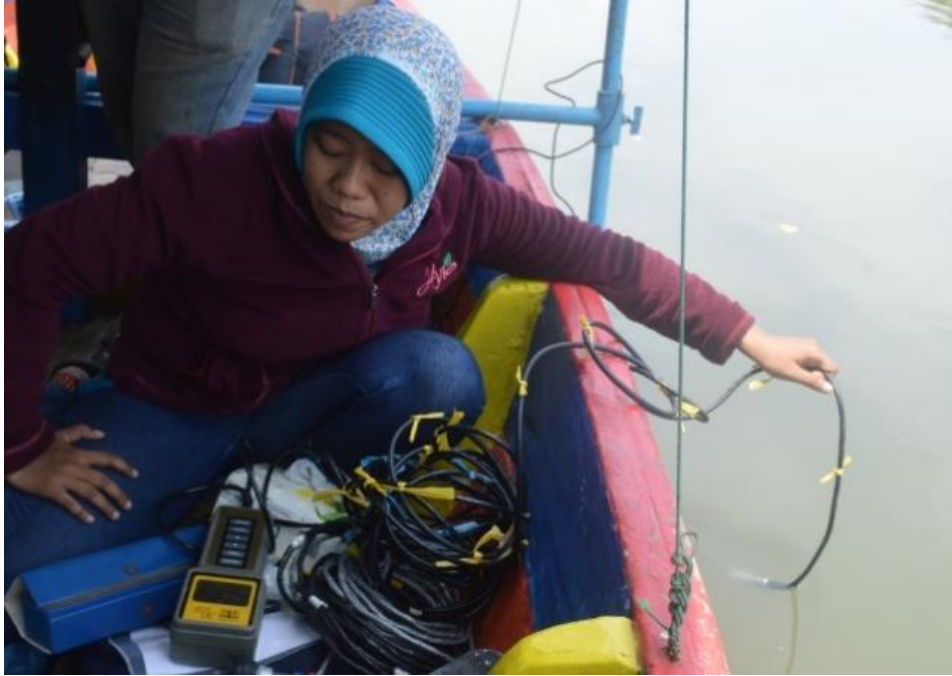
c. Foto Alat Pengukur Temperatur Salinitas YSI



d. Foto Pemasangan Mistar Pasut



e. Foto Pengukuran Temperatur Salinitas dengan Alat YSI



f. Foto Pencatatan Lokasi Pengukuran Sampel dari GPS



Lampiran 5. Lisensi Penggunaan Software



KEMENTERIAN KELAUTAN DAN PERIKANAN BADAN PENELITIAN DAN PENGEMBANGAN KELAUTAN DAN PERIKANAN

KOMPLEK BINA SAMUDERA, JALAN PASIR PUTIH I ANCOL TIMUR JAKARTA 14430
TELEPON (021) 64711583, EXT : 4404 FAKSIMILE (021) 64711501
LAMAM www.litbang.kkp.go.id POS ELEKTRONIK litbang_kkp@kkp.go.id

Nomor : 219 /BALITBANG KP.0/LB. 391/2016
Sifat : Segera
Hal : Ijin Penggunaan Lisensi

26 Januari 2016

Yth. Kepala Program Pascasarjana Teknologi Kelautan
Institut Teknologi Sepuluh Nopember
di Surabaya

Sehubungan dengan adanya surat permintaan Saudara nomor
006/IT2.4.5/PP.05.02/2016 tanggal 11 Januari 2016 perihal Ijin Penggunaan Lisensi untuk:

No	Nama	NRP	Judul
1.	Wazirotus Sakinah	4114 205 005	Pemodelan sebaran kualitas air estuari Wonorejo dan dampaknya terhadap ekosistem perairan estuari
2.	Anita Diah Pahlewi	4114 205 004	Pemodelan dinamika estuari Wonorejo Surabaya
3.	Zhelvyanie	4114 205 007	Identifikasi karakteristik delta di Surabaya
4.	Made Mustika Wijaya	4114 205 013	Formula tegangan geser dasar dan transportasi sedimentasi dasar (Bed load sediment transport) untuk pemodelan morfologi dasar laut (studi kasus: Area Kanal PLTGU Grati)

bersama ini disampaikan bahwa pada dasarnya kami tidak keberatan dengan permintaan tersebut. Adapun hal-hal yang perlu diperhatikan adalah:

1. Penggunaan software dan lisensi MIKE 21 milik P3TKP hanya dapat dilaksanakan di kantor P3TKP dengan alamat Gedung Balitbang KP 2 Lantai 5, Jl. Pasir Putih I Ancol Timur dan dibawah pengawasan peneliti P3TKP (Saudara La Ode Nurman Mbay);
2. Karya tulis ilmiah yang dihasilkan dari penggunaan software tersebut, telah mendapat ijin dari P3TKP dan mencantumkan pemilik lisensi.

Demikian disampaikan, atas perhatian dan kerjasama Saudara, disampaikan terima kasih.

Sekretaris Balitbang KP,



BAB 5

KESIMPULAN DAN SARAN

5.1 Kesimpulan

Berdasarkan penelitian yang telah dilakukan, didapatkan data pengukuran yang kemudian disimulasikan dan dimodelkan menggunakan software MIKE 3. Dari hasil analisa, kemudian diambil kesimpulan, yaitu:

1. Pola sirkulasi arus di muara Wonorejo yaitu arus bergerak dari arah tenggara menuju arah barat laut. Ketika sampai di muara, sebagian arus ada yang bergerak ke arah utara dan sebagian lagi bergerak ke arah selatan. Pada saat menuju pasang atau menuju surut, kecepatan arus lebih tinggi dibanding saat pasang tertinggi ataupun surut terendah.
2. Sebaran salinitas menunjukkan bahwa dalam arah horizontal, salinitas bertambah dari arah hulu sungai ke arah laut. Sebaran salinitas dari laut akan terdorong lebih jauh ke arah badan sungai saat kondisi menuju pasang dibanding saat pasang tertinggi. Secara vertikal salinitas terdistribusi merata dan tidak ada stratifikasi salinitas, yang menunjukkan terjadinya pencampuran yang baik antara air tawar dan air laut. Sebaran temperatur menunjukkan bahwa tidak ada lapisan termoklin di area muara Wonorejo. Temperatur di permukaan dan di dasar perairan tidak berbeda jauh, sehingga temperatur terdistribusi merata.
3. Tipe estuari berdasarkan hasil pemodelan salinitas mengindikasikan bahwa di muara Wonorejo pada profil vertikal, salinitas tidak menunjukkan adanya stratifikasi sehingga di wilayah ini estuarinya merupakan tipe estuari tercampur sempurna atau *well mixed estuary*. Dari dermaga ekowisata mangrove hingga muara wonorejo air didominasi oleh air kategori *mesohaline* dan *polyhaline*, dimana masukan air tawar dari hulu sungai tidak mencapai dermaga.

5.2 Saran

Saran yang dapat disampaikan untuk penelitian lebih lanjut adalah sebagai berikut:

1. Perlu dilakukan pengukuran lapangan untuk mendapatkan data baik data primer maupun sekunder dalam bentuk *time series*
2. Area pengukuran temperatur salinitas sebaiknya diperpanjang ke arah hulu sungai agar mendapatkan data yang lebih jelas dan akurat mengenai area dimana air tawar bercampur dengan air laut di dalam sungai
3. Penelitian temperatur salinitas sebaiknya di lakukan pada 2 musim yaitu musim kemarau dan musim penghujan untuk mengetahui kondisi temperatur salinitas pada kedua musim tersebut.

DAFTAR PUSTAKA

- Aziz, M. F., (2007), "Tipe Estuari Binuangeun (Banten) Berdasarkan Distribusi Suhu dan Salinitas Perairan", *Jurnal Oseanologi dan Limnologi di Indonesia*, Vol. 33, hal. 97– 110.
- BLH Surabaya, (2010), *Laporan Pengendalian Pencemaran Kawasan Pantai dan Pesisir*, BLH Surabaya, Surabaya.
- BLH Surabaya, (2013), *Profil Keanekaragaman Hayati dan Ekosistem Kota Surabaya*, BLH Surabaya, Surabaya.
- BPP Kota Surabaya, (2013), *Rencana Pengembangan Pantai Timur Surabaya*, Surabaya.
- Cahyana, Chevy., (2006), *Implementasi Model Sebaran Temperatur di Semenanjung Muria*, Hasil Penelitian dan Kegiatan PTLR BATAN.
- CEM, (2001), *Coastal Engineering Manual*, U.S. Army Corps of Engineers , Washington.
- Day, J.W., Hall, C.A.S., Kemp, W.M., Yanez-Arancibia, A. (1989), *Estuarine Ecology*, John Wiley & Sons, United States.
- DKP (2009), *Modul Pelatihan Pengelolaan Wilayah Pesisir dan Pulau-Pulau Kecil Secara Terpadu*, Departemen Kelautan dan Perikanan, Jakarta.
- DHI, (2007), *MIKE 21 & MIKE 3 Flow Model FM – Hydrodynamic Module: Short Description*, DHI, Denmark.
- DHI, (2012), *MIKE 3 Flow Model FM – Hydrodynamic Module: User Guide*, DHI, Denmark.
- Duxburry, A.B., (2002), *Fundamentals of Oceanography: Fourth edition*, McGraw-Hill, New York.
- Dinkominfo, Tanpa Tahun. Pembangunan Perekonomian. dinkominfo.surabaya.go.id. Diakses tanggal 12 September 2015.
- Fajar, Purwanto, Indrayanti E., (2014), "Kajian Potensi Arus Laut sebagai Energi Alternatif Pembangkit Listrik di Perairan sekitar Jembatan Suramadu Selat Madura", *Jurnal Oseanografi*, Vol. 3, No.3, hal 294-303.
- Hadikusumah, (2008), "Variabilitas Suhu dan Salinitas di Perairan Cisadane", *MAKARA SAINS*, Bidang Dinamika Laut, Pusat Penelitian Oseanografi, LIPI, Jakarta.
- Ji, Zhen-Gang, (2008), *Hydrodynamics and Water Quality: Modelling Rivers, Lakes, and Estuaries*, John Wiley & Sons, United States.
- Jumarang, M.I., Muliadi, Ningsih, N.S., Hadi, S., Martha, D. (2011), "Pola Sirkulasi Arus dan Salinitas Perairan Estuari Sungai Kapuas Kalimantan Barat", *POSITRON*, Vol. 1, hal. 36-42.
- Fauziah, Siti. (2013), *Pemodelan Pencemaran Estuari oleh Logam Berat Timbal (Pb) menggunakan Program Powersim dengan Tinjauan Sistem Dinamik (studi kasus Pantai Timur Surabaya)*, Tugas Akhir, Institut Teknologi Sepuluh Nopember, Surabaya.

- Maharani, W. R., Setiyono H., Setyawan, W. B., (2014), “Studi Distribusi Suhu, Salinitas dan Densitas secara Vertikal dan Horizontal di Perairan Pesisir, Probolinggo, Jawa Timur”, *Jurnal Oseanografi*, Volume 3, nomor 2, hal. 151-160.
- McLusky, D. S, (1971), *Ecology of Estuaries*, Heinemann Educational Books Ltd, London.
- McLusky, D. S and Elliott, M. (2004), *The Estuarine Ecosystem*, Oxford University Press, United States.
- Moharir, R.V., Khairnar, K., Paunika, W.N. (2014), “MIKE 3 as a Modeling Tool For Flow Characterization: A Review of Applications on Water Bodies”, *International Journal of Advanced Studies in Computer Science & Engineering (IJASCSE)*, Vol. 3, Issue 3.
- Lukman, N., (2010), *Studi Kelimpahan dan Keanekaragaman Burung Air dan Sumber Pakannya di Tambak Wonorejo, Surabaya*, Skripsi, Departemen Biologi, Fakultas Sains dan Teknologi Universitas Airlangga, Surabaya.
- Nitasari, Nasria I., (2013), *Angin Muson*, <https://nasriaika1125.wordpress.com>. Diakses tanggal 22 April 2016.
- Nurjaya, I.W., Damar A., Surbakti H., Gunawan, Ari., (2013), *Kondisi Oseanografi dan Model Hidro-Dinamika Perairan Sekitar Pulau Yamdena dan Pulau Selaru, Kabupaten Maluku Tenggara Barat*, Working Paper PKSPL-IPB, Bogor.
- Nybakken, James W., (1988), *Biologi Laut: Suatu Pendekatan Ekologis*, PT. Gramedia, Jakarta.
- Odum, E.P., (1993), *Dasar-dasar Ekologi*, Gadjah Mada University Press, Yogyakarta.
- Ongkosongo, O.S.R, (2010), *Kuala, Muara Sungai dan Delta*, LIPI, Jakarta.
- Paytan, Adina., (2006), *Temperature, Salinity, Density, General Ocean Circulation*, Lecture handout : Marine Chemistry, ocean.stanford.edu.
- Prandle, D.,(2009), *Estuaries: Dynamics, Mixing, Sedimentation, and Morphology*, Cambridge University Press, UK.
- Rositasari, R dan Rahayu, S.K. (1994), “Sifat-sifat Estuari dan Pengelolaannya”, *Oseana*, Vol. XIX, No. 3, hal. 21-31.
- Sari, C.I., Surbakti, H., Fauziyah (2013), “Pola Sebaran Salinitas dengan Model Numerik Dua Dimensi di Muara Sungai Musi”, *Maspari Journal* 5 (2), hal. 104-110.
- Siswanto, Aries Dwi dan Nugraha, Wahyu Andy, (2014), “Studi Parameter Oseanografi di Perairan Selat Madura Kabupaten Bangkalan”, *Jurnal Kelautan*, Vol.7, No. 1, Universitas Trunojoyo Madura.
- Suprayogi, Imam., (2009), *Model Peramalan Intrusi Air Laut di Estuari Menggunakan Pendekatan Softcomputing*, Disertasi, Institut Teknologi Sepuluh Nopember, Surabaya.
- Suntoyo, (2014a), *Aplikasi Pemodelan Evolusi Morfologi Delta, Mudflats dan Estuari untuk Pengelolaan Keanekaragaman Sumber Daya Hayati (Ekosistem) Berkelanjutan Kota Surabaya*, Institut Teknologi Sepuluh Nopember, Surabaya.

- Triatmodjo, B., (1992), *Metode Numerik*, Beta Offset, Yogyakarta.
- Sverdrup, K., Duxbury, A., Duxbury A.B., (2005), *An Introduction to The World's Ocean – 8th Edition*, Mc Graw Hill, New York.
- Valle-Levinson, Arnoldo. (2010), *Definition and Classification of Estuaries*, Cambridge University Press, <http://assets.cambridge.org/>. Diakses tanggal 27 Agustus 2015.
- Wei, William W.S., (2006), *Time Series Analysis:Univariate and Multivariate Methods*, Pearson, USA.
- Wismadi, T. dan Handayani, S., (2014), “Karakteristik Pasang Surut Laut di Raja Ampat, Indonesia”, *Jurnal Ilmiah Geomatika*, Vol. 20 No. 1.

(Halaman ini sengaja dikosongkan)

BIODATA PENULIS



Penulis merupakan anak kedua dari empat bersaudara yang dilahirkan di Bondowoso pada tanggal 17 Agustus 1987 dari pasangan Bapak Purwantomo dan Ibu Herni Widyastuti. Pendidikan sarjana ditempuh pada tahun 2006 di Fakultas Keguruan dan Ilmu Pendidikan Jurusan Pendidikan MIPA Program Studi Pendidikan Biologi Universitas Jember, lulus pada tahun 2010. Pada tahun 2014 penulis melanjutkan pendidikan magister teknik di Program Studi Teknik Manajemen Pantai Program Pascasarjana Teknologi Kelautan Institut Teknologi Sepuluh Nopember Surabaya. Selama mengikuti pendidikan master, penulis juga berkesempatan mengikuti berbagai konferensi nasional, seminar nasional, dan seminar internasional. Apabila ingin berdiskusi lebih lanjut terkait Tesis ini dapat menghubungi penulis melalui: anitadiah123@gmail.com